

AJOURAMALLIEN LUOTETTAVUUSSELVITYS
LINJA-AUTOJEN AJOURIEN VERTAILU KENTTÄKOEIDEN JA
TIETOKONEMALLINNUSTEN VÄLILLÄ



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Riihimäki, Liikenneala

Kevät, 2017

Tu Nguyen

Liikenneala
Riihimäki

Tekijä	Tu Nguyen	Vuosi 2017
Työn nimi	Ajouramallien luotettavuusselvitys, linja-autojen ajourien vertailu kenttäkokeiden ja tietokonemallinnusten välillä	
Työn ohjaajat	Rami Tervo ja Esa Karvonen	

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö pohjautuu HSL:n teettämään selvitykseen, jonka tavoitteena oli tutkia ajouramallinnusohjelmalla (AutoTURN) luotuja ajouria ja vertailla niitä kenttäkokeissa saatuihin mittaustuloksiin, jotka saatiin paikallistamisjärjestelmä vastaanottimien (GNSS) avulla. Vertailulla haluttiin selvittää eroavaisuuksia tietokonemallinnusohjelmalla (AutoTURN) luotujen ja GNSS-vastaanottimilla mitattujen ajourien välillä.

Työn tarkoituksena oli selvittää linja-autojen peränylityksiä ja kääntymisten tilantarpeita kenttäkokeiden ajotilanteissa ja arvioida mahdollisia peränylitysriskejä todellisessa liikenteessä. Tämän lisäksi haluttiin selvittää, onko Liikenneviraston ohjeistuksen mukainen linja-auton mitoitussajoneuvo (LAT 15 metriä) riittävän kattava edustamaan HSL:n alueella liikennöiviä telilinja-autoja, jotka on varustettu kääntyvällä telillä.

Tuloksista voidaan todeta, että mitoitussajoneuvo (LAT) ei edusta riittävästi kääntyvätelisiä kolmiakselia linja-autoja. Ajourien erot tulivat esiin erityisesti linja-autojen käännöksen aikana sisäkyljen vaatimassa tilassa (1,6 metriä enemmän mitoitussajoneuvolla) sekä peränylityksissä (0,6 metriä vähemmän). Lisäksi AutoTURN-ohjelmaan luotiin testattujen linja-autojen mittoja vastaavat ajoneuvot, jolloin ajourat erosivat enimmillään 0,2 metriä. Tuloksista nähdään ohjelmiston olevan riittävän tarkka mallintamaan todellisuutta jäljitteleviä ajouria jäykkärunkoisten linja-autojen osalta. Vaikka nykyohjeistuksen mukainen telilinja-auton mitoitussajoneuvo (LAT) on tilantarpeeltaan merkittävästi todellisia linja-autoja suurempi, se on liikennetekniseen mitoitukseen kuitenkin useimmiten sopiva. Tällöin voidaan huomioda riittävästi vaihtelevan kaluston ja ajotapojen vaikutus, mutta peränylitystilanteissa mitoitussajoneuvo ei edusta tarpeeksi hyvin kääntyvätelisten linja-autojen ominaisuuksia.

Avainsanat Ajoura, ajouramallinnus, jäykkärunko, kääntyvä teli, linja-auto, mitoitussajoneuvo, takasivusiirtymä

Sivut 47 sivua

Traffic Management
Riihimäki

Author	Tu Nguyen	Year 2017
Subject	Reliability report of the swept path models of buses between computer simulated swept paths and swept paths created from data collected from a test environment	
Supervisors	Rami Tervo and Esa Karvonen	

ABSTRACT

This thesis was based on a report commissioned by HSL. The aim of the report was to compare the vehicle swept paths of real-life vehicles and those simulated by a vehicle swept path analysis software (AutoTURN). The measuring data of the real-life vehicles was collected using Global Navigation Satellite System.

In this thesis: project examined the rear-end overhangs and space requirements of buses while turning in a testing environment and estimated possible risks of these rear-end overhangs in real traffic. From a traffic design point of view I was trying to clarify the situations where the rear-end overhangs should be better taken into account. In this thesis, I also try to figure out whether the standard vehicle LAT recommended by Liikennevirasto is adequate to represent the tri-axle buses used in the area of HSL, especially buses that are 15 meters long and have steering rear axles.

By comparing the results, it can be concluded that LAT, the standard vehicle of Liikennevirasto is not adequate to represent tri-axle buses with tag axels. The differences between swept paths were highly visible in the space required by the inner sides of buses during turning and rear over-sweeps. According to the results, the space required by the inner sides of the standard vehicle was a maximum of 1.6 meter wider and the rear over-sweeps of the standard vehicles were a maximum 0.6 meters less than the busses in the test environment.

In conclusion, LAT, the standard vehicle of practice for multi-axel buses requires remarkably more space than real-life multi-axel buses. It is however, suitable for designing and engineering of traffic management in most occasions since by using a standard vehicle larger than real-life vehicles it is possible to encompass the influence of varying stock and different driving patterns.

Keywords bus, standard vehicle, swept path, rear-end overhangs

Pages 47 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	LINJA-AUTOJEN SÄÄDÖSTEN KEHITYS SUOMESSA.....	2
3	SUUNNITTELUOHJEET.....	4
4	TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN	5
4.1	Testiympäristö.....	5
4.2	Mittaustapa	6
4.3	Tutkimuksessa käytetyt linja-autot	8
4.3.1	Scania 1011.....	8
4.3.2	Man 803.....	9
4.3.3	Scania 1328.....	10
4.3.4	Scania 125.....	10
4.4	Testiajot.....	11
4.4.1	Oikealle kääntyminen 90 astetta, normaali liittymäalue	12
4.4.2	Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tilava liittymäalue	12
4.4.3	Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tiukemmin mitoitettulla liittymäalueella	12
4.4.4	Käänös, 360 astetta	12
4.4.5	Pysäkkiajot.....	13
4.5	Ajouramallinnusohjelma AutoTURN	13
4.5.1	AutoTURN 10	13
4.5.2	AutoTURN -ajoura	14
4.6	MITTAUSMENETELMÄ.....	16
4.6.1	GNSS -AJOURA.....	16
5	TULOKSET	18
5.1	Oikealle kääntyminen 90 astetta	18
5.1.1	Kaksiakselinen Scania (1011).....	19
5.1.2	Kolmiakselinen jäykkäteline Scania (125)	20
5.1.3	Kolmiakselinen kääntyväteline MAN (803)	21
5.1.4	Kolmiakselinen kääntyväteline Scania (1328).....	22
5.2	Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tilavammin mitoitettulla liittymäalueella. 23	
5.2.1	Kaksiakselinen Scania (1011).....	24
5.2.2	Kolmiakselinen jäykkäteline Scania (125)	24
5.2.3	Kolmiakselinen kääntyväteline MAN (803)	25
5.2.4	Kolmiakselinen kääntyväteline Scania (1328).....	26
5.3	Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tiukemmin mitoitettulla liittymäalueella 27	
5.3.1	Kaksiakselinen Scania (1011).....	28
5.3.2	Kolmiakselinen jäykkäteline Scania (125)	28
5.3.3	Kolmiakselinen kääntyväteline MAN (803)	29
5.3.4	Kolmiakselinen kääntyväteline Scania (1328).....	30

5.4	Ympyräajo	31
5.4.1	Kaksiakselinen Scania (1011).....	32
5.4.2	Kolmiakselinen jäykkäteline Scania (125)	33
5.4.3	Kolmiakselinen kääntyvälinen MAN (803)	33
5.4.4	Kolmiakselinen kääntyvälinen Scania (1328)	34
5.5	Pysäkkiajot.....	35
5.5.1	Pysäkillä tulo ja pysäkillä lähtö.....	35
5.6	Mittausten tulokset verrattuna itsemääritelyyn AutoTURN-ajoneuvoon.....	35
5.6.1	Vertailu: käyttäjäkohtainen mitoitusajoneuvo ja GNSS-ajourat	36
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	38
	LÄHTEET	40

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö tehtiin Trafix Oy:n toimesta. Opinnäytetyö pohjautuu HSL:n teettämään linja-autojen ajouramallien luotettavuusselvitykseen, jossa selvitettiin kuinka hyvin liikenneteknisessä mitoituksessa, erityisesti ajouratarkasteluissa käytettävä Liikenneviraston Tiensuunnittelun liikennetekniset mitoitusperusteet -ohjeistuksen mukainen 15-metrinen jäykkäteline kolmiakselinen mitoitusajoneuvo LAT vastaa erityisesti HSL:n alueella liikennöiviä 15-metrisiä kääntyvätelisiä kolmiakselisia linja-autoja. Työn laatimisesta vastasivat Trafix Oy:ssä Mikko Suhonen ja Esa Karvonen. Opinnäytetyön laatija oli mukana kyseisessä projektissa testaustilanteissa, dokumentoinnissa ja tulosten järjestämisessä loogiseksi kokonaisuudeksi.

Hyvin usein liikennesuunnittelun teknisessä mitoituksessa käytetään apuna tietokonepohjaisia ajouramallinnusohjelmistoja, joilla pyritään simuloimaan erilaisten ajoneuvojen tilantarvetta erilaisissa ajotilanteissa. Ajouraohjelmistoista saatuja tuloksia saatetaan ajoittain kyseenalaistaa, koska tuloksiin liittyy epävarmuustekijöitä.

HSL:n alueella on käytössä noin 1500 linja-autoa, joista noin 500 on kääntyvätelisiä kolmiakselisia. Liikenneviraston *Tiensuunnittelun liikennetekniset mitoitusperusteet* -ohjeiden mukaisesti mitoituksessa 15 metriä pitkille linja-autoille käytetään jäykkätelistä kolmiakselista mitoitusajoneuvoa, vaikka noin kolmasosa käytössä olevista kolmiakselisista linja-autoista on kääntyvätelisiä. Teline ominaisuus vaikuttaa linja-auton vaatimaan tilaan erityisesti jyrkissä käännoksissä ja pysäkkiajoissa.

Selvityksen johdosta järjestettiin kenttäkoe, jossa rakennettiin sopiva testiympäristö ja maalattiin ajoradat erilaisille ajotilanteille. Kenttäkokeessa mitattiin GNSS-vastaanottimilla erilaisten linja-autojen todelliset tilantarpeet ja verrattiin niitä AutoTURN-ohjelmalla tuotettuihin ajouramalleihin, joissa mitoitusajoneuvona oli käytetty kaksiakselisille linja-autoille Liikenneviraston ohjeistuksen mukaista LA-mitoitusajoneuvoa ja kolmiakselisille LAT-mitoitusajoneuvoa. Lisäksi vertailtiin kenttäkokeiden tuloksia AutoTURN-ohjelmassa tehtyihin ajoneuvoihin, joiden fyysiset mitat ja teliominaisuudet määritettiin mahdollisimman tarkasti vastaamaan kenttäkokeissa käytettyä kalustoa.

Opinnäytetyössä on keskitytty tarkastelemaan kaksi- ja kolmiakselisten jäykkärunkoisten linja-autojen käyttäytymistä kenttäkokeen ajotilanteissa. Tarkastelujen ulkopuolelle jätettiin nivelellisten linja-autojen testaaminen, koska niitä ei ole tällä hetkellä käytössä HSL-alueella. Kenttäkokeissa tutkittiin linja-autojen käyttäytymistä seuraavissa tilanteissa: käännoiset 90-asteen mutkasta, kääntyminen 90-asteisissa käännoksissa kahdessa

erilaisessa liittymätilassa sekä pysäkillä tulo ja pysäkillä poistuminen. Työn aikana kiinnitettiin erityisesti huomiota kääntyvien telilinja-autojen käyttäytymiseen, käännöksen aikaiseen sisäkyljen tilantarpeeseen ja peränylityksiin. Liikennesuunnittelun näkökulmasta työllä pyrittiin selvittämään missä tilanteissa peränylitykset pitäisi mahdollisesti ottaa aikaisempaa paremmin huomioon.

2 LINJA-AUTOJEN SÄÄDÖSTEN KEHITYS SUOMESSA

Vuodesta 1982 vuoteen 1989 saakka Suomessa nivelettömien, eli niin sanotusti jäykkien linja-autojen sallittu pituus oli enintään 13,0 metriä. Vuonna 1990 sallittu enimmäispituus muutettiin 14,5 metriseksi. Vuonna 2002 astui voimaan viimeisin muutos, jossa linja-autojen suurin sallittu pituus nostettiin 15,0 metriin, sillä ehdolla että pituuden ylittäessä 13,5 metriä linja-autot tulee rakentaa vähintään kolmiakselisiksi. Samalla linja-autojen sallittua leveyttä kavennettiin 2,6 metristä 2,55 metriin. (Ristikartano, Granlund, Räsänen & Salmelin 2012,50.)

Vuonna 1975 Suomessa sallittiin nivelrakenteisten linja-autojen käyttö. Niiden suurin sallittu pituus oli 18,0 metriä aina vuoteen 2002 asti, jolloin sitä korotettiin 18,75 metriin. Heinäkuun 2009 alusta alkaen kaksi- ja useampi niveliset linja-autot on voitu rakentaa enintään 25,25 metriä pitkiksi. (Ristikartano, ym. 2012,50.)

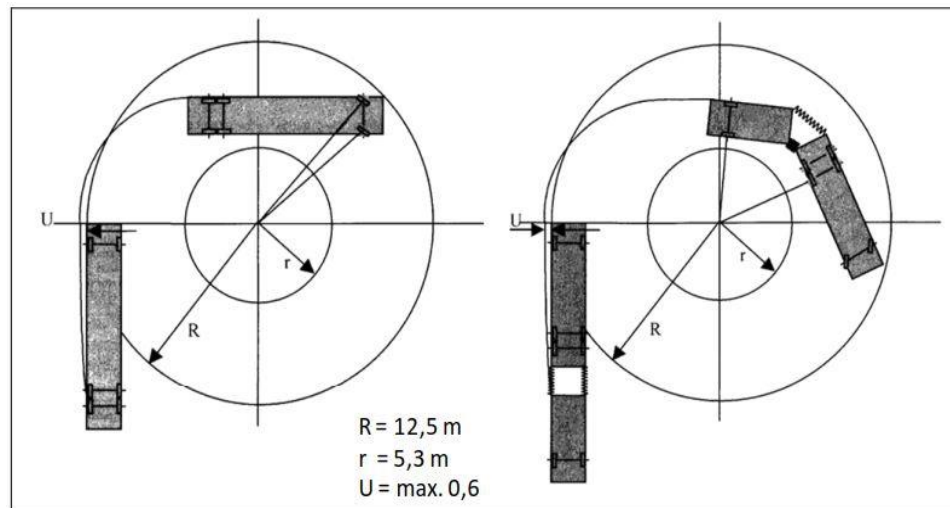
Ennen vuotta 1990 linja-autoille ei oltu määritelty tarkkoja vaatimuksia koskien uloimman etukulman kääntyvyyttä. Vuonna 1990 Kulkulaitosten ja yleisten töiden ministeriön yhteisellä päätöksellä säädettiin erilaisia vaatimuksia linja-autojen mitoitukselle ja kääntyvyydelle. Säädöksessä korin takaylitystä sai olla enintään 65 % akselivälistä, mutta kuitenkin maksimissa 3,9 metriä. Peränylityksestä eli takasivusiirtymästä säädettiin, että se saa olla maksimissaan 0,8 metriä linja-auton lähtiessä liikkeelle ohjauksen ollessa 12,0 metrin säteistä kääntöympyrää vastaavassa asennossa (nivellinja-autoilla enintään 1,3 metriä). Korin etuylitystä sai olla enintään 2,8 metriä. (Ristikartano, ym. 2012,50.)

Jäykkien linja-autojen kääntyvyysvaatimuksia muutettiin vuonna 1990 jolloin niiden sallittu enimmäispituus kasvoi 14,5 metriseksi aiemmasta 13,0 metristä. Tässä vaatimuksessa alle 13 metrin pitkän linja-auton tuli kääntyä sellaisessa tilassa, joka on 12,5/5,0, mikä tarkoittaa, että uloimman etukulman kulkiessa 12,5 metrin säteisen ympyrän kaarta pitkin sisäsivu kulki minimissään 5,0 metrin säteistä kaarta pitkin. Linja-autojen, jotka ovat yli 13,0 metriä tuli kääntyä 14,0/6,0 tilassa. Kolmen vuoden jälkeen vuonna 1993 yli 13,0 metrisille linja-autoille asetettiin jälleen uusi kääntyvyysvaatimus, joka oli 15,0/6,0. Aikaisemmat väljät

kääntyvyysvaatimukset mahdollistivat pikien ja pitkäakselisten linja-autojen mitoittamisen kohtuullisen hyvin kääntyviksi etupyörien kääntyvyyden rajoissa. Takakulman sivusiirtymävaatimus rajoitti pitkien takaylitysten tekemistä, koska sillä perusteltiin muuan muassa pysäkillä odottavien matkustajien turvallisuutta. Takakulman sivusiirtymävaatimuksen takia joissakin 14,5 metrisissä teliajoneuvoissa jouduttiin rajoittamaan etupyörien kääntymiskulma 39 – 40 asteeseen pitkän takaylityksen takia, mikä johti siihen, että kyseiset linja-autot kääntyivät huonosti. Heinäkuussa 1997 Europan parlamentti ja neuvosto antoi direktiivin 97/27/EY, jossa enintään 13,0 metriä pitkien linja-autojen kääntöympyrän säde kasvoi 12 metristä 12,5 metriseksi. Takasivusiirtymää koskevat vaatimukset pysyivät ennallaan (0,8 metriä tai 1,2 metriä). (Ristikartano, ym. 2012,50.)

Vuonna 2003 Euroopan komission antoi direktiivin 2003/19/EY, jossa linja-autojen kääntyvyysvaatimukset ja takasivusiirtymä päivitettiin aikaisemmasta direktiivistä 92/27/EY. Direktiivin 2003/19/EY liitteen I mukaisesti linja-auton korin tulee olla siten mitoitettu, että tullessa suoraan ajaen 12,5 metriä säteiseen kääntöympyrään ja alettaessa seurata sitä, korin äärimmäisen takakulman siirtymä suoraan ajon aikaisesta auton sivun määräämästä pystytasosta mitattuna on enintään 0,6 metriä (kuva 1). Tällä tavalla mitoitettun linja-auton takasivusiirtymä voi olla noin 1,5 metriä, kun se lähtee liikkeelle paikaltaan ohjauksen ollessa 12,5 metrin säteistä kääntöympyrää vastaavassa asennossa. Direktiivi mahdollisti sen, että voitiin rakentaa kääntyvyydeltään entisestä ketterämpiä ja pidempiä linja-autoja, mutta samalla pysäkillä odottavien matkustajien turvallisuus huonontui johtuen linja-autojen suuresta takasivusiirtymästä. (Ristikartano, ym. 2012,50.)

Tämän hetkisen EU-yleissäännön mukaan linja-autojen enimmäispituus on 15,0 metriä ja enimmäisleveys 2,55 metriä. Takasivusiirtymä saa olla enintään 0,6 metriä ja kääntymisvaatimus on 12,5/5,3 mikä tarkoittaa, että uloimman etukulman kulkiessa 12,5 metrin säteisen ympyrän kaarta pitkin sisäsivu kulkee vähintään 5,3 metrin säteistä kaarta pitkin. Linja-autoja, jotka eivät täytä uusia leveys-, kääntyvyys- ja takakulman siirtymävaatimuksia, saa käyttää vuoden 2020 loppuun. (Ristikartano, ym. 2012,50.)



Kuva 1. Linja-autojen kääntyvyyttä ja takakulmansivusiirtymä koskevat vaatimukset (Ristikartano ym. 2012,15)

3 SUUNNITTELUOHJEET

Tien geometrian suunnittelussa, poikkileikkauksien, liittymien, näkemien ja suuntausgeometrian mitoittamisessa tarvitaan erilaisia mitoitusajoneuvoja. Mitoitusajoneuvot edustavat mitoiltaan oman ryhmänsä ajoneuvojen suurimpia sallittuja mittoja ja valtaosaa ryhmänsä ajoneuvoista. Linja-autoja käytetään mitoitusajoneuvoina esimerkiksi suunniteltaessa liittymä-, pysäkki- ja terminaalialueita, liikenteen tarvitsemien pienisäteisten kaarteiden kaarrelevityksiä ja minimikäyntösäteensä perusteella kiertoliittymien kiertosaarekkeen minimihalkaisijoita sekä joukkoliikenteen näkemiä ja niitä vastaavia tietasauksia taajama-alueilla. Ajouradan linjaosuuden ja liittymäkohtien suurimman sallitun pituuskaltevuuden määrittämisessä käytetään myös linja-autoja mitoitusajoneuvoina. (Ristikartano, ym. 2012,50.)

Joukkoliikenneajoneuvojen tilantarve vaihtelee muun muassa ajoneuvotyyppistä, akselien sijainnista ja määrästä sekä korimitoituksesta riippuen. Kuvassa 2 on esitetty mitoittavien linja-autojen tärkeimmät mitat ja ajotilan leveydet Pohjoismaissa ja Saksassa. Ajotila on ilmoitettu ajouran leveytenä linja-auton liikkuessa R_k -säteisen ympyrän kaarta etuakselin keskipistettä seuraten. Muina mitoittavina linja-autoina voivat tulla kyseeseen yksiniveliset nivellinja-autot (pituus 18,0 – 18,75 m) ja useampiniveliset linja-autot (pituus 24 – 25,25 m). (Ristikartano, ym. 2012,50.)

Taulukko 1. Mitoittavien linja-autojen päämitat ja ajotilan leveydet (m) Pohjoismaissa ja Saksassa (Ristikartano ym. 2002, 30).

Linja-auton kääntyvyydestä ja takakulman sivusiirtymästä on tehty säädös

Mitta (m)	Telilinja-auto				Linja-auto			
	Suomi	Ruotsi	Norja	Saksa	Suomi	Ruotsi	Tanska	Saksa
Pituus	15,00	15,00	15,00	15,00	13,50	13,00	13,70	12,00
Leveys	2,55	2,55	2,55	2,50	2,55	2,55	2,55	2,50
Korkeus	4,20	3,90		3,70	4,20	3,20	4,00	3,70
Ajotila, $R_k=13$ m	6,1	6,20	6,69	6,10				
Ajotila, $R_k=12$ m					6,21	5,87	5,41	5,34
Ajotila, $R_k=11$ m	6,8	6,85	7,43	6,74				
Ajotila, $R_k=10$ m					6,98	6,53	5,96	5,88

Ajotila-arvoissa ei ole huomioitu koripyörityksiä ja ne on ilmoitettu ajouran maksimileveyksinä.

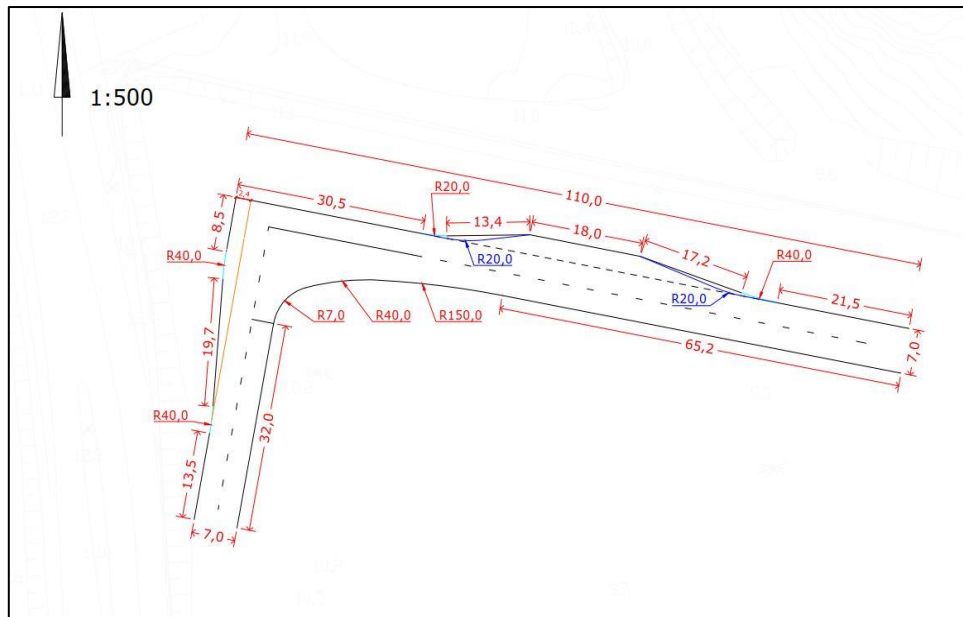
Liikenne- ja viestintäministeriön asetuksessa autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista 1248/2002. Linja-auton etukulman ja takakulman tekemät etu- ja takaylitykset liikkuvat laiturin yläpuolella mennessä pysäkin odotustilan puolelle linja-auton tullessa kääntyvästi pysäkillä ja pysäkiltä lähtiessä. Tämän liikkeen käyttämä tila on suurin lähtevän telilinja-auton takakulmalla, joka on ajosuuntaan nähden sivusuunnassa noin 1,5 metriä leveä. Tämä on otettu huomioon pysäkkien ja liikenneväylien suunnittelussa, ja ne rakennetaan mahdollisimman turvallisiksi. (Rakennustietosäätiö 2013)

4 TUTKIMUKSEN SUORITTAMINEN

4.1 Testiympäristö

Kenttäkoe toteutettiin Vartiokylän linja-autovarikolla, joka sijaitsee Helsingissä, lokakuussa 2016. Ajolinjat maalattiin varikon asfalttiin vastaamaan tarkasti AutoCadillä suunniteltua ajorataa. Ajoradan leveys on 7 metriä leveä ja ajoradan sisäkaarteiden kaariyhdistelmä on 7R-40R-150R. Mutkaan ajettaessa etelästä päin linja-auton on tehtävä 90 asteen käännös. Idästä päin tullessa linja-autolle ajoradalle merkittiin kaksi pysäkkiä eri mitoituksilla. Väljempi pysäkki, jossa linja-auton tuloviiste on R40 ja lähtöviiste R20. Toinen pysäkki oli normaalia tiukemmin mitoitettu, jossa sekä tulo- että lähtöviiste olivat molemmat R20. Molempien pysäkkien linja-auton odotustila on 18,0 metriä. Pysäkin jälkeen tulee 90 asteen käännös kohti etelää. Tässä käännöksiä tehdään kahdessa erilaisessa tilassa, normimitoituksen ja tiukemman mitoituksen mukaan.

Normimitoituksessa linja-auto pyrkii olemaan käyttämättä vastaan tulevien kaistaa käännöksessä sekä mutkan jälkeisessä suoristamisessa. Tiukkamitoituksessa linja-auton täytyy käyttää vastaan tulevien ajokaistaa kääntymiseen ja suoristamiseen.



Kuva 2. Testiradan tarkat mitat.

4.2 Mittaustapa

Kenttäkokeessa käytettyjen linja-autojen ajouramallinnuksessa käytettiin GNSS-mittausmenetelmää (Global Navigation Satellite System). GNSS-mittauksessa sijainnin määrittämiseen käytetään GPS-järjestelmän lisäksi muitakin satelliittipaikannusjärjestelmiä. Linja-autojen vaatima tila testaustilanteissa mitattiin neljän GNSS-vastaanottimen avulla. GNSS-vastaanottimet ovat tavallisia GPS-järjestelmiä huomattavasti tarkempia, sillä ne käyttävät sijainnin määrittämiseen GPS:n lisäksi myös muita paikannusjärjestelmiä, kuten GLONASSia, joka on Venäjän satelliittipaikannusjärjestelmä, BeiDouta, joka on Kiinan, ja Galileoa, joka on Euroopan. Tällä menetelmällä saatujen mittaustulosten virhemarginaali voi parhaimmillaan olla vain muutama millimetri ja liikkeessä mitattuna muutama senttimetri.

Tutkimuksessa käytetyt mittaustulokset saatiin GNSS-vastaanottimista, jotka oli sijoitettu linja-autojen uloimpien pisteiden kohdalle (kuva 4). Vastaanottimien tallennusväliksi asetettiin 0,3 metriä ja toleranssirajaksi 0,05 metriä. Testiajojen jälkeen GNSS-laitteiden mittaamat pisteet kerättiin ja tuotiin AutoCADin ajoratamaalauksiin. Tämän jälkeen AutoTURNilla luotiin erilaisia ajouria vertailua varten.



Kuva 3. Kenttäkokeissa käytetyt GNSS Zenith25 PRO -vastaanottimet



Kuva 4. GNSS-vastaanottimien sijainnit linja-auton katolla. Vastaanottimet ovat sijoitettu linja-autojen korin äärimmäisten ulomien kulmien kohdalla.

4.3 Tutkimuksessa käytetyt linja-autot

Kenttäajokokeeseen valitut linja-autot edustavat kääntyvyyssominaisuuksiltaan HSL:n alueella liikennöivän kaluston ääripäitä. Tämä otanta mahdollistaa kattavan vertailun AutoTurn-ohjelmalla luotuihin ajouriin. Valitut linja-autot ovat seuraavat: kaksiakselinen Scania 1011, joka on 12,9 metriä pitkä; kolmiakselinen kääntyvätelinen MAN 803 pitkällä takaylityksellä; kolmiakselinen kääntyvätelinen Scania 1328, joka liikennöi pääosin 550-runkolinjalla (entinen Jokeri-linja); kolmiakselinen jäykkätelinen Scania 125, ja joka on poistumassa pian liikenteestä.

Suomen Paikallisliikenneliiton ry (PLL) tietojen mukaan kaupunkiliikenteessä on käytössä yleensä kaksi- ja kolmiakselisia linja-autoja, joiden pituudet vaihtelevat 12 metrin ja 15 metrin välillä. Ajoneuvot vaihtelevat telirakenteeltaan ja kääntymisominaisuuksiltaan akselin sijainnista ja korimitoituksesta riippuen. Tilantarve vaihtelee eri ajoneuvotyypeillä. 14,5 metrisellä jäykällä taka-akselilla varustetulla telilinja-autolla on suurin tilantarve. PLL suositteleeekin mitoitusajoneuvona käytettävän aina telilinja-autoa. (Suomen Paikallisliikenneliitto ry, 2010.)

HSL:n Helsingin seudulla on käytössä noin 1500 linja-autoa, joista noin 500 on kääntyvätelisiä kolmiakselisia. Koeajotutkimukseen valittiin näiden tietojen pohjalta neljä erilaista linja-autoa, joita käytetään HSL:n ajossa. Linja-autot poikkeavat toisistaan iältään, akselimäärältään, pituudeltaan ja teliominaisuuksiltaan.

4.3.1 Scania 1011

Linja-autossa on kaksi akselia. Sen kori on 12,9 metriä pitkä ja 2,55 metriä leveä. Linja-auton akseliväli on 6,60 metriä, etuylitys 2,90 metriä ja takaylitys 3,40 metriä. Linja-auto on valmistettu vuonna 2009 ja rekisteröity Suomen tieliikenteeseen vuonna 2009 rekisterinumerolla CHL-494. Linja-auto kuuluu Helsingin Bussiliikenne -liikennöitsijälle ja toimii HSL:n liikenteessä kylkinumerolla 1011. Linja-auto käyttää polttoaineena diesel -polttoöljyä. Korimalli on Lahti Scala ja alusta Scania K230. Lattiatyyppi on etumatala ja ovijärjestys on 2+2+1. Väriykseltä linja-auto on sinivalkoinen. (Timo Vasara n.d.)



Kuva 5. Kenttäkokeessa käytetty kaksiakselinen Scania 1011.

4.3.2 Man 803

Linja-autossa on kolme akselia, joista takimmainen akseli on hydraulisesti kääntyvä teli. Pituudelta 14,675 metriä ja leveyttä on 2,50 metriä. Linja-auton akseliväli on 6,90 + 1,70 metriä, etuylitys on 2,50 metriä ja takaylitys 3,375 metriä. Tämä linja-auto on valmistettu vuonna 2007 ja rekisteröity Suomen tieliikenteeseen vuonna 2007 rekisterinumerolla NHN-863. Linja-auto kuuluu Helsingin Bussiliikenne -liikennöitsijälle ja toimii HSL:n liikenteessä kylkinumerolla 803. Linja-auto käyttää polttoaineena maakaasua. Korimalli on MAN Lion's City LL ja alusta MAN A26. Lattiatyyppi on kokomatala ja ovijärjestys on 2+2+2. Väriykseltä linja-auto on sinivalkoinen. (Timo Vasara n.d.)



Kuva 6. Kenttäkokeessa käytetty kolmiakselinen MAN 803

4.3.3 Scania 1328

Linja-autossa on kolme akselia, joista takimmainen akseli on hydraulisesti kääntyvä teli. Pituutta on 14,50 metriä ja leveyttä 2,55 metriä. Linja-auton akseliväli on 6,65 + 1,50 metriä, etuylitys 2,90 metriä ja takaylitys 3,45 metriä. Tämä linja-auto on valmistettu vuonna 2013 ja rekisteröity Suomen tieliikenteeseen vuonna 2013 rekisterinumerolla JIS-728. Linja-auto kuuluu Helsingin Bussiliikenne -liikennöitsijälle ja toimii HSL:n liikenteessä kylkinumerolla 1328. Linja-autossa on kolme akselia, joista takimmainen akseli on hydraulisesti kääntyvä teli. Linja-auto käyttää polttoaineena diesel -polttoöljyä. Korimalli on Lahti Scala ja alusta Scania K280UB. Lattiatyyppi on etumatala ja ovijärjestys on 1+2+1. Väriykseltä linja-auto on HSL-oranssi. (Timo Vasara n.d.)



Kuva 7. Kenttäkokeessa käytetty kolmiakselinen Scania 1328.

4.3.4 Scania 125

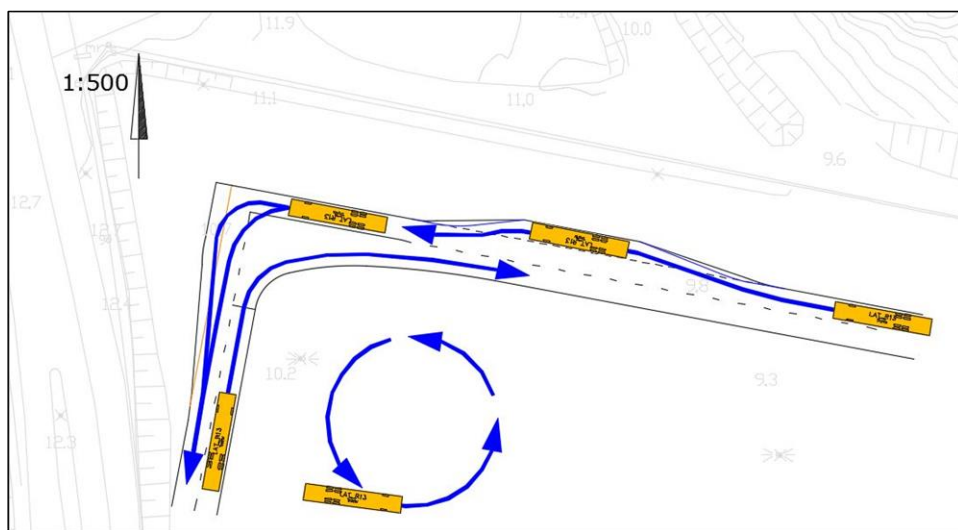
Linja-autossa on kolme akselia, joista takimmainen akseli on hydraulisesti kääntyvä teli. Pituutta on 14,495 metriä ja leveyttä 2,55 metriä. Linja-auton akseliväli on 6,98 + 1,30 metriä, etuylitys on 2,88 metriä ja takaylitys 3,335 metriä. Tämä linja-auto on valmistettu vuonna 2001 ja rekisteröity Suomen tieliikenteeseen vuonna 2001 rekisterinumerolla EZI-734. Linja-auto kuuluu Helsingin Bussiliikenne -liikennöitsijälle ja toimii HSL:n liikenteessä kylkinumerolla 125. Linja-auto käyttää polttoaineena diesel -polttoöljyä. Korimalli on IKARUS E94 ja alusta Scania L94UB. Lattiatyyppi on etumatala ja ovijärjestys on 2+2+1. Väriykseltä linja-auto on sinivalkoinen. (Timo Vasara n.d.)



Kuva 8. Kenttäkokeessa käytetty kolmiakselinen Scania 125.

4.4 Testiajot

Linja-autojen kuljettajana toimi Helsingin bussiliikenteen kokenut ammatikuljettaja, jolla oli yli 20 vuoden kokemus linja-auton kuljettajana. Hänen kanssaan keskusteltiin ennen testiajoja linja-autojen ohjaamisen haasteista ja tilantarpeista liikenteessä, jotka tuottavat usein vaikeuksia uusille ja kokemattomille kuljettajille. Kokeneen kuljettajamme kertoman mukaan hän pystyy huomioimaan eri linja-autojen eri ominaisuudet ajossa, ja tästä on paljon hyötyä käännoksissä ja muissa tilanteissa missä kuljettajan on hyvä pystyä arvioimaan linja-auton vaatimaa tilaa. Testiajot suoritettiin noin 5 km/h nopeudella ja kuljettajan tuli käyttää asfalttiin maalattuja ajo- linjoja testaustilanteiden mukaisesti.



Kuva 9. Testiajotilanteet

4.4.1 Oikealle kääntyminen 90 astetta, normaali liittymäalue

Tässä ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntymiseen vaatima tila. Käännöksen aikana kiinnitettiin huomiota erityisesti linja-autojen peränylityksiin sekä sisäkyljen tilantarpeeseen. Käännöksen aikaisella sisäkyljen tilantarpeella tarkoitetaan linja-auton korin sisäkaarteessa vaatimaa kääntymistilaa. Lisäksi tarkkailtiin linja-autojen käännöksen jälkeistä suoristumista omalle kaistalle.

4.4.2 Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tilava liittymäalue

Ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntymiseen vaatima tila normaalia, seitsemän metriä leveää katupoikkileikkausta tilavammin mitoitettulla liittymäalueella. Käännöksen aikana kiinnitettiin huomiota erityisesti linja-auton peränylityksiin ja sisäkyljen tilantarpeeseen. Tässä tilanteessa linja-auton ei tarvinnut käyttää vastaantulijoiden ajokaistaa käännöksen aikana eikä käännöksen jälkeisessä suoristuksessa.

4.4.3 Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tiukemmin mitoitettulla liittymäalueella

Ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntymiseen vaatima tila tiukemmalla, seitsemän metriä leveän katupoikkileikkauksen mukaisesti mitoitettulla liittymäalueella. Käännöksen aikana kiinnitettiin huomiota erityisesti linja-autojen peränylityksiin ja sisäkyljen tilantarpeeseen. Tässä tilanteessa linja-auto joutui käyttämään vastaantulijoiden ajokaistaa sekä käännöksen aikana että käännöksen jälkeisessä suoristuksessa.

4.4.4 Käännös, 360 astetta

Ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntösäteitä ajamalla täysiä ympyröitä, jolloin saatiin selville linja-auton korin tekemä sisä- ja ulkosäde ja samalla saatiin myös selville linja-auton etuakselin keskipisteen muodostaman ympyrän säde. Ajotilanteissa linja-auto lähti tekemään ympyröitä paikaltaan ja linja-auton ohjauspyörä oli käännettynä ääriasentoon.

4.4.5 Pysäkkiajot

Pysäkkiajotesteissa selvitettiin linja-autojen käyttämä tila pysäkillä tulossa ja pysäkiltä lähdössä. Ajotestissä käytettiin sekä normimitoitusta vastaavaa (Helsingin kaupungin katuohjeen mukaista) pysäkkiä, että tiukemmin mitoitettua pysäkkiä. Poisajot toteutettiin kahdella eri tavalla siten, että ensin linja-auto poistui pysäkiltä etupyörien ollessa käännetty ääriasentoon ja toisella tavalla niin, että linja-auto poistui hitaasti eteenpäin ajaen ja samalla ohjauspyörää kääntäen. Ajotestin aikana kiinnitettiin erityisesti huomiota eri linja-autojen peräilytyksen käyttämään tilaan, jolloin linja-auton perä ulottuu pysäkin matkustajille tarkoitetun odotustilan puolelle.

4.5 Ajouramallinnusohjelma AutoTURN

4.5.1 AutoTURN 10

AutoTURN 10 on Transoft Solutions -yrityksen kehittämä ajouramallinnus- ja simulointiohjelma, jolla simuloidaan ajoneuvojen ajouria ja niiden tilantarvetta. Ohjelma käyttää erilaisia algoritmeja simuloimaan ajoneuvojen liikkeitä. Ajouran luomisessa algoritmit laskevat jokaisessa lisävaiheessa ajoneuvolle ja renkaille uuden sijainnin. AutoTURN-ohjelmalla tuotetut ajourat ovat kineettisiä malleja, eikä niissä ole huomioitu ajoneuvoihin vaikuttavia voimia kuten esimerkiksi keskipakovoima, kiihtyvyys- tai hitausvoimat, ajoradan ja renkaiden välinen kitkapinta, jotka kohdistuvat liikkeessä olevaan ajoneuvoon. Edellisten tekijöiden johdosta ohjelmalla ei pystytä tuottamaan tarkkoja ajourien simulaatioita yli 60 km/h nopeuksissa.

AutoTURN-ohjelmassa voidaan käyttää ajouramallinnuksessa viranomaisen ohjeiden mukaisia standardimitoitusajoneuvoja, joissa on annettujen suositusten mukaiset kääntösäteet tai luoda tilanteen mukaan käyttäjäkohtaisia mitoitusajoneuvoja, joilla on esimerkiksi tiukemmat kääntösäteet vaikkapa huoltopihan toimivuustarkastelussa, eli tilanteissa joissa on tarve määrittää ajoneuvolle tiukemmat kääntövyysominaisuudet ja ohjauksen lukitusarvo. Käyttäjäkohtaisessa mitoitusajoneuvon käytössä täytyy ottaa huomioon todellisen ajoneuvon kääntövyysrajoitteet ja noudattaa niitä.

Ajourat ovat geometrisesti idealisoituja tuloksia, joita voi olla vaikea jäljitellä todellisessa kenttäajossa ja tieolosuhteissa. Onnistuneesti suoritettu AutoTURN-simulaatio ei takaa, että kaikki kuljettajat voisivat seurata määritettyä polkua todellisissa olosuhteissa, eikä se tarkoita, etteikö haluttujen lähtö- ja loppupisteiden välillä olisi toisia mahdollisia

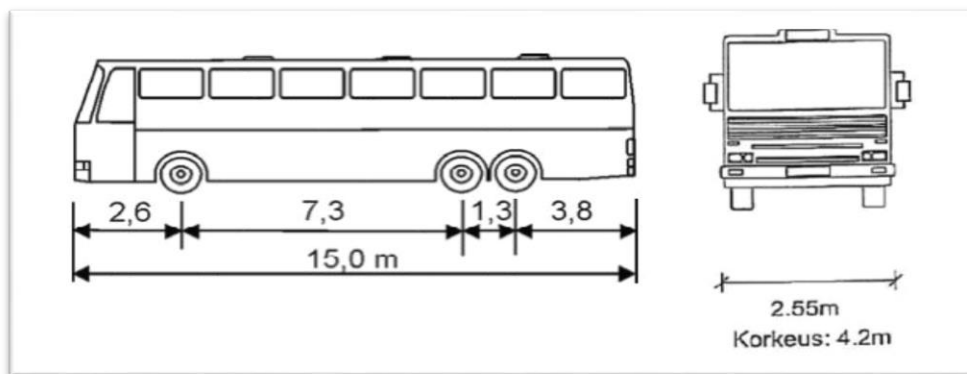
polkuja. Siksi on tärkeää lisätä ajouriin varoetäisyyttä tien reunoihin ja kiinteisiin esteisiin.

Ennen virtuaalisimulointia liikennejärjestelyiden suunnittelemisessa käytettiin fyysisiä kääntymismallilautoja ja ajoneuvofiguureja. Nämä olivat melko kömpelöitä ja hitaita metodeja. Tietokoneella tehtävät simulaatiot ovat tehokkaampia ja nopeampia, joten ne ovat erittäin hyödyllisiä apuvälineitä liikennesuunnittelussa. AutoTURN-ohjelmistoa suositellaan käytettäväksi yhdessä paikallisen lainsäädännön voimassa olevien suunnitteluohjeiden kanssa.

4.5.2 AutoTURN -ajoura

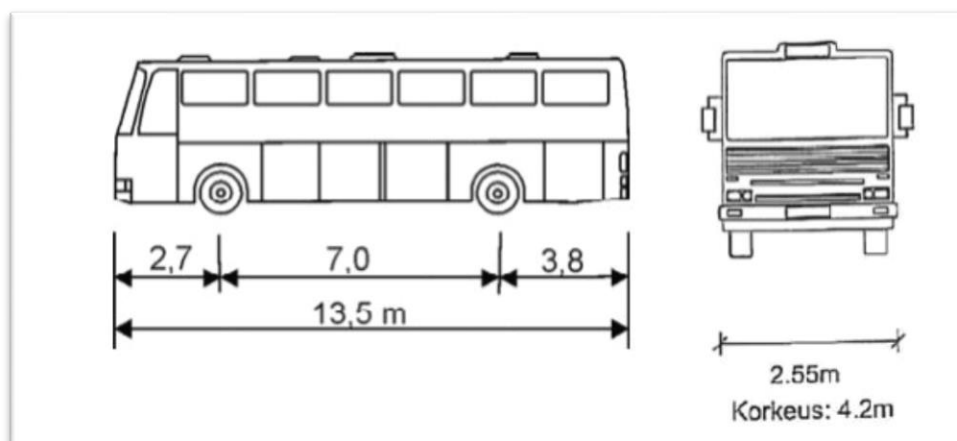
Testiajojen jälkeen GNSS-vastaanottimien mitaamat pisteet kerättiin ja tuotiin AutoCADin ajoratamaalauksiin. Tämän jälkeen AutoTURNilla luotiin erilaisia ajouria vertailua varten. GNSS-ajouria vertailtiin AutoTURN-ohjelmalla luotuihin ajouriin, joissa käytettiin mitoitusajoneuvoina LA- ja LAT mitoitusajoneuvoja. Ajourat luotiin AutoTURN-ohjelmalla siten, että mitoitusajoneuvon ulompi etukulma valittiin kiinteäksi pisteeksi, joka seurasi fyysisen koeajon linja-auton ulomman etukulman GNSS-vastaanottimen piirtämää uraa. Kaksiakselisten linja-autojen mitoitusajoneuvona käytettiin LA-mitoitusajoneuvoa ja kolmiakselisten LAT-mitoitusajoneuvoa. Mitoitusajoneuvojen valinnat perusteltiin Liikenneviraston suositusten mukaan.

LAT-mitoitusajoneuvo on kokonaispituudeltaan 15,0 metriä ja leveydeltään 2,55 metriä. Korin etuylitys on 2,6 metriä ja korin takatakaylitys 3,8 metriä. Autossa on kolme akselia, joista takimmainen akseli on jäykkämallinen teli, joka ei käännä missään tilanteessa. Akseliväli on 7,3 metriä, kun taas teliväli on 3,8 metriä ja akseleiden leveys on 2,5 metriä (kuva 10). Kyseisellä mitoitusajoneuvolla on ajettu AutoTURN-ajouramallinnuksessa *Lock to Lock time* eli ratin kääntämiseen toisesta ääriasennosta toiseen kuluva aika on 6 sekuntia. *Steering Lock Angle* eli ohjauspyörien maksimikääntökulma on 55,7 astetta. Minimisäde etuakselin keskelle on 11,0 metriä, joka vastaa ajotapaa B. Mitoitusnopeutena käytettiin viittä kilometriä tunnissa.



Kuva 10. Telilinja-auto (Ristikartano, ym. 2012,30).

Kaksiakselisille linja-autoille AutoTURN-ajouramallinnuksessa käytettiin Liikenneviraston ohjeiden mukaista mitoitussajoneuvoa LA (kuva 11). Kyseinen mitoitussajoneuvo on kokonaispituudeltaan 13,5 metriä ja leveydeltään 2,55 metriä. Korin etuylitys on 2,7 metriä ja korin takatakaylitys 3,8 metriä. Akseliväli on 7,0 metriä ja akseleiden leveys on 2,5 metriä. AutoTURN-ajouramallinnuksessa Lock to Lock time eli ratin kääntämiseen toisesta ääriasennosta toiseen kuluva aika on 6 sekuntia. Steering Lock Angle eli ohjauspyörien maksimikäntökulma on 46,6 astetta. Minimisäde etuakselin keskelle on 10,0 metriä, joka vastaa ajotapaa B. Mitoitusnopeutena käytettiin viittä kilometriä tunnissa.



Kuva 11. Linja-auto (Ristikartano, ym. 2012,31)

4.6 MITTAUSMENETELMÄ

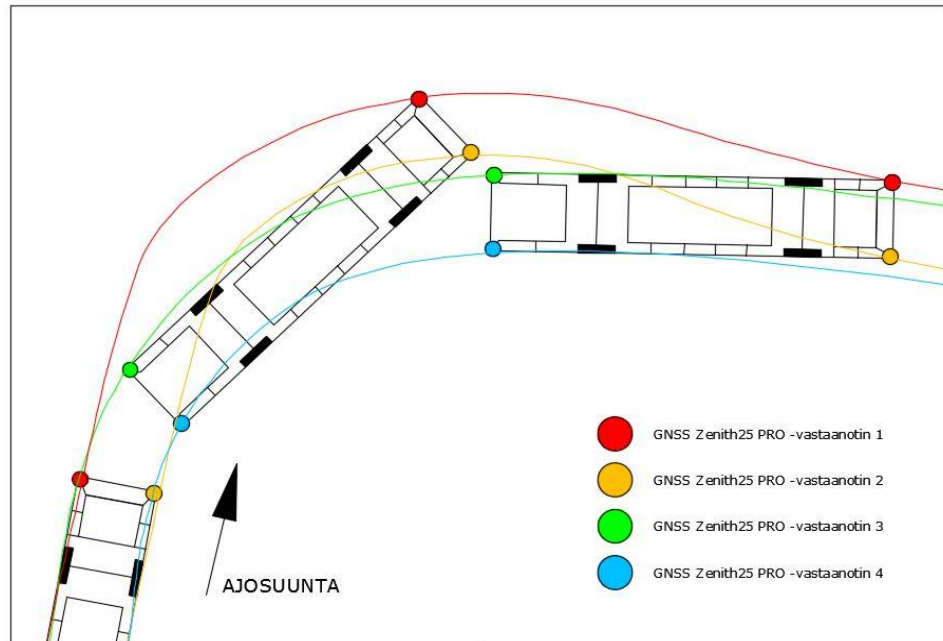
Tutkimuksessa oli mukana GeoUnion Oy, joka on erikoistunut monipuolisiin maaperätutkimus-, mittaus- ja suunnittelutöihin. GeoUnionin työntekijät toimittivat GNSS-mittauslaitteet ja huolehtivat niiden asennuksesta ja oikeaoppisesta käytöstä ja tallensivat mittaustulokset. GeoUnion toimitti saadun datan testauksen jälkeen Trafixille.

Mittaustulosten keräämisessä käytettiin neljää GNSS Receiver Zenith25 Pro Series-vastaanotinta. Koordinaatistojärjestelmänä oli ETRS-GK25/N2000. Testaustilanne tallennettiin myös valokuvin ja videotallentein myöhempää tarkastelua varten. Testauspäivänä sää oli aurinkoinen ja sateeton, joten sään vaikutus mittaustuloksiin on hyvin vähäinen.

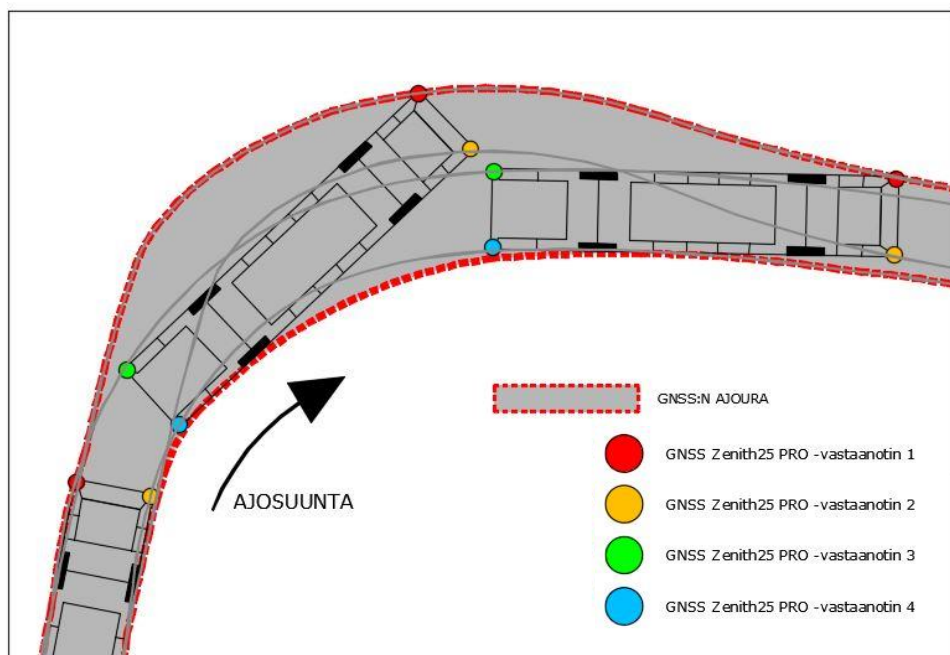
4.6.1 GNSS -AJOURA

GNSS-ajoura koostuu neljästä yksittäisestä GNSS Zenith25 Pro -vastaanottimella tehdystä ajourasta (kuva 12), ja siinä on otettu huomioon sekä linja-autojen sisäkyljen laahauksen tilantarve, että peränylitys (kuva 13). Vastaanottimet kiinnitettiin linja-auton katolle uloimpien kulmien kohdalle ja näin ollen jokaisen testiajon jälkeen saatiin linja-auton uloimpien kulmien pisteiden tarkat sijainnit testiajojen aikana. GNSS Zenith25 Pro-vastaanottimien tarkkuustoleranssiksi oli asetettu maksimissa 3 senttimetriä ja tallennusväliksi 30 senttimetriä. Kokeiden aikana ei tapahtunut sellaista tilannetta, jossa tarkkuustoleranssi olisi ylittynyt.

Linja-autojen korin sisäkyljen tilantarvetta ei saatu suoraan GNSS-vastaanottimista, vaan sen pystyi määrittämään vasta mittaustulosten perusteella piirretystä ajourasta, josta näkee kuinka taka-akseli seuraa etu-akselin uraa käännöksen jälkeisessä suoristumisessa. Tästä saadaan linja-auton sisäkyljen pienin kääntösäde. Pienintä kääntösädettä voidaan käyttää hyväksi esimerkiksi kiertoliittymän pienimmän kääntösäteen määrittämisessä. Tämä pienin kääntösäde vaihtelee linja-autoittain, riippuen korin mitoista, akselimäärästä, telivälistä ja teliominaisuudesta. Sisäsäde saatiin määritettyä sijoittamalla linja-auton korin fyysisten mittojen mukainen suorakulmio GNSS-vastaanottimista saatuihin kulmien sijainteihin jokaisessa testiajossa. Peränylytysten arvot saatiin suoraan vastaanottimista, jotka oli kiinnitetty linja-auton takakulmiin.



Kuva 12. GNSS-vastaanottimien tekemien ajolinjoja testiajon aikana.



Kuva 13. GNSS -ajoura (punainen katkoviiva), jossa on huomioitu sekä peränylitys että sisäkyljen vaatima tilaa.

5 TULOKSET

Tässä luvussa esitellään keskeisimmät tulokset GNSS -laitteiden tekemien ajourien ja AutoTURN -ohjelmalla tehtyjen ajourien välillä. Vertailussa käytettiin ajouramallien luomisessa Transoft AutoTURN 10 -ajouramallinnusohjelmaa, joka toimii AutoCAD 2016 -version päällä. Ajourien mallinnuksessa ei ole otettu huomioon eikä niihin ole piirretty varoetäisyyttä.

5.1 Oikealle kääntyminen 90 astetta

Tässä ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntymiseen vaatima tila. Ajotestissä suoritettiin 90 asteen käännös, joka vastaa 100 goonia. Käännöksen aikana kiinnitettiin huomiota erityisesti linja-autojen peräylitykseen ja sisäkyljen vaatimaan tilaan. Tulokset ovat koostetusti taulukossa 2.

Taulukko 2. Mittauseroja GNSS- ja AutoTURN-ajourien välillä, Oikealle kääntyminen 90 astetta -testiajossa.

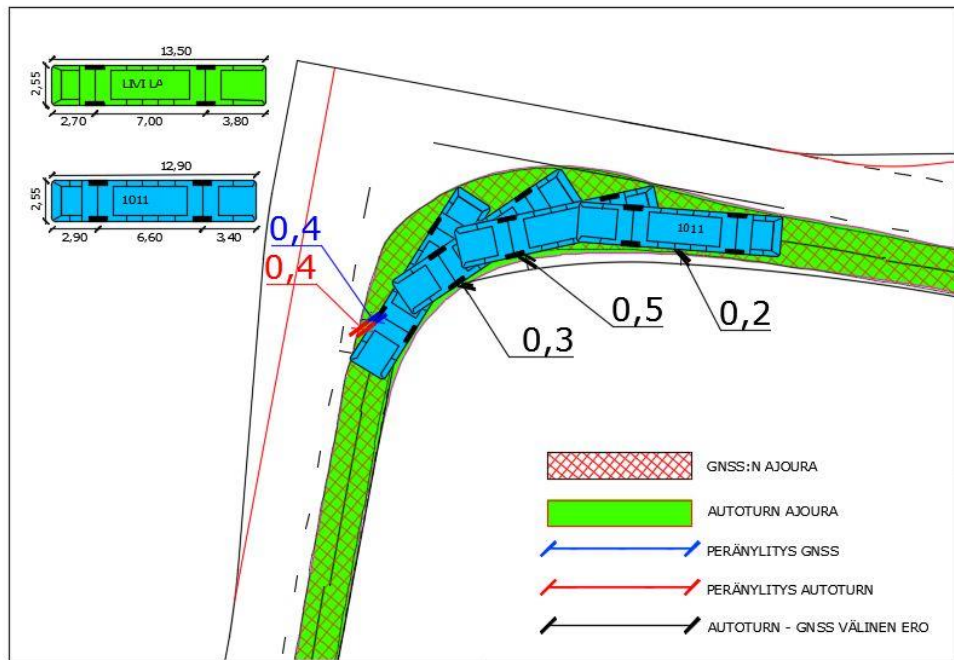
Linja-auto	Peränylitys: GNSS- ja AutoTURN -ajourien erotus, enimmäisarvo	Kyljen laahaus: GNSS- ja AutoTURN-ajourien erotus, enimmäisarvo
2-akselinen Scania 1011	0 m	0.5 m
3-akselinen jäykkätelineinen Scania 125	0.2 m	0.4 m
3-akselinen kääntytelineinen MAN 803	0.3 m	0.9 m
3-akselinen kääntytelineinen Scania 1328	0.2 m	0.9 m

Tämän ajokokeen mittaustulosten mukaan kaksiakselisen Scania 1011:n peränylitys oli saman verran sekä AutoTURN-ajourassa että GNSS-ajourassa. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon se, että AutoTURN-ajourassa käytetty mitoitusajoneuvo LA on 13,5 metriä pitkä, kun taas Scania 1011 on vain 12,9 metriä pitkä. Näiden kahden ajoneuvon välinen pituusero on 0,60 metriä ja akselivälinen ero on 0,40 metriä, mikä selittää kyljen laahauksen. Jos Scania 1011 takaylitys olisi ollut saman pituinen kuin mitoitusajoneuvo LA, niin peränylytysten mittaustulosten välillä voisi esiintyä eroa. Todennäköisesti Scania 1011:n peränylitys olisi tällöin enemmän, kuin mitä koeajossa GNSS-ajourista mitattiin.

Kolmiakselisten linja-autojen osalta mitoitusajoneuvo LAT edustaa hyvin jäykkätelisiä linja-autoja. Täytyy ottaa huomioon se, että mitoitusajoneuvo LAT on noin 0,5 metriä pidempi kuin muut ajokokeessa käytetyt kolmiakseliset linja-autot. Peränylisten erot ajourien välillä ovat 0,2 – 0,3 metrin luokkaa. Kun tarkastellaan AutoTURN-ajouraa, joka on tehty jäykkätelisellä mitoitusajoneuvolla LAT, ja kääntyvätelisten linja-autojen GNSS-ajouria, niin huomataan heti, että kääntyvällä telillä varustetulla linja-autolla peränylityksen sivusiirtymä on huomattavasti suurempi kuin jäykkätelisellä mitoitusajoneuvolla LAT. Tästä teliominaisuudesta johtuen myös kääntyvien linja-autojen sisäkyljen laahauksen vaatima tila on pienempi. Kääntyväteliset pystyvät liikkumaan mutkaan tullessaan ja poistuessaan ketterämmin kuin jäykkäteliset. Kääntyvässä telissä takapyörät kääntyvät ohjauksen mukaan, jolloin taka-akseli seuraa lähempänä etuakselin ajouraa. Siitä johtuen sisäpuolen tilantarve on vähäisempi kääntyvällä telillä kuin jäykällä.

5.1.1 Kaksiakselinen Scania (1011)

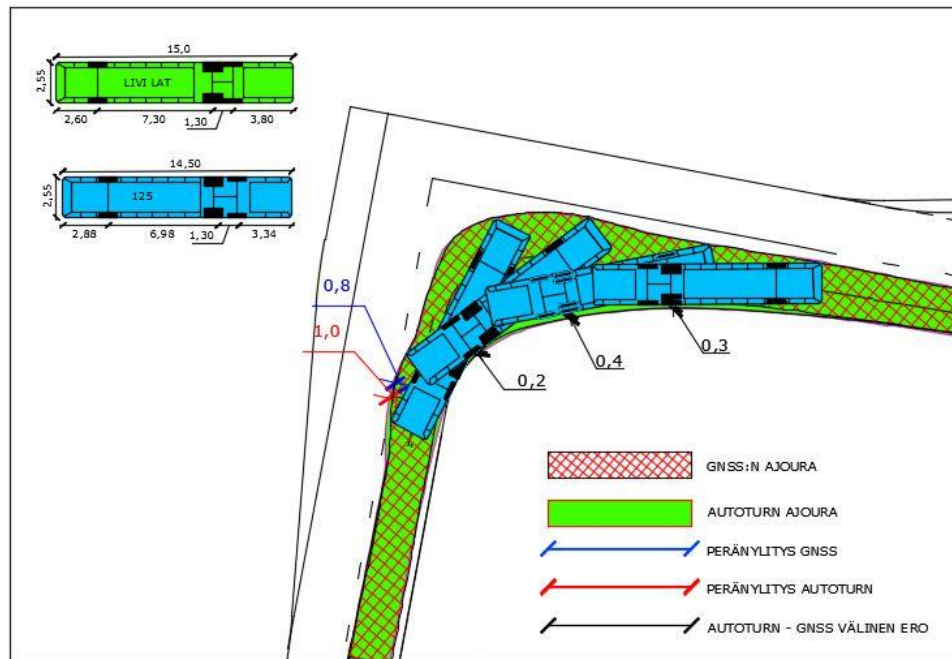
Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylitys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 0,4 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylitys oli 0,4 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylitysten ero ei esiintynyt. Kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,5 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,6 metriä ja akseliväliltään 0,4 metriä testattua linja-autoa pidempi (kuva 14).



Kuva 14. LA-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,5 metriä suurempi sisäkyljen puolella verrattuna Scania 1011:n GNSS-ajouraan. Peräilytysten eroa ei esiintynyt.

5.1.2 Kolmiakselinen jäykkätelineinen Scania (125)

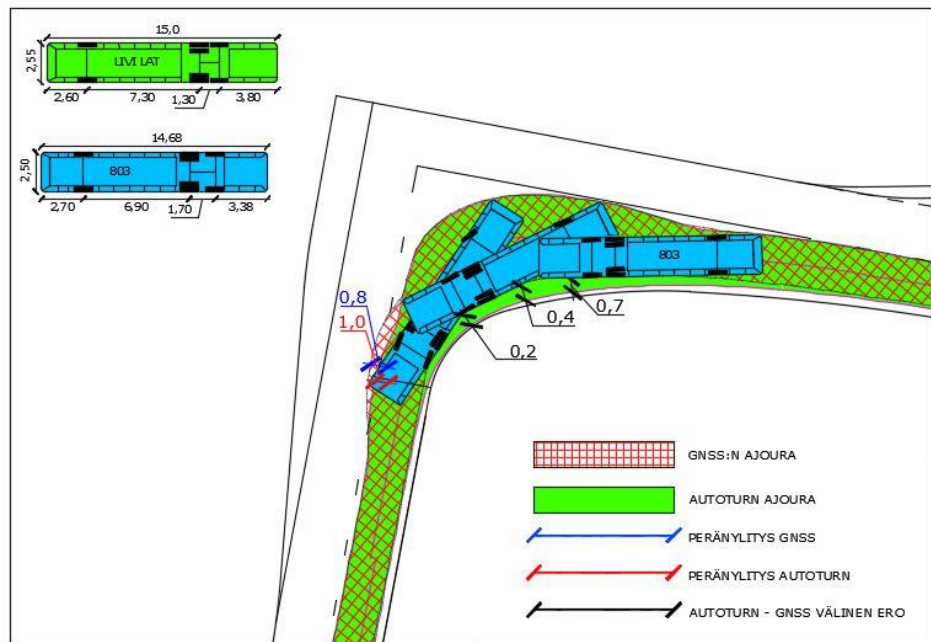
Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylitys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 0,8 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylitys oli 1,0 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten ero on 0,2 metriä. Kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,4 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,5 metriä, akseliväliltään 0,32 metriä ja takaylitykseltään 0,46 metriä testattua linja-autoa pidempi (kuva 15).



Kuva 15. LAT-mitotusajoneuvon tilantarve on 0,4 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,2 metriä pienempi peränylyksessä verrattuna Scania 125:n GNSS-ajouraan.

5.1.3 Kolmiakselinen kääntyvätelinen MAN (803)

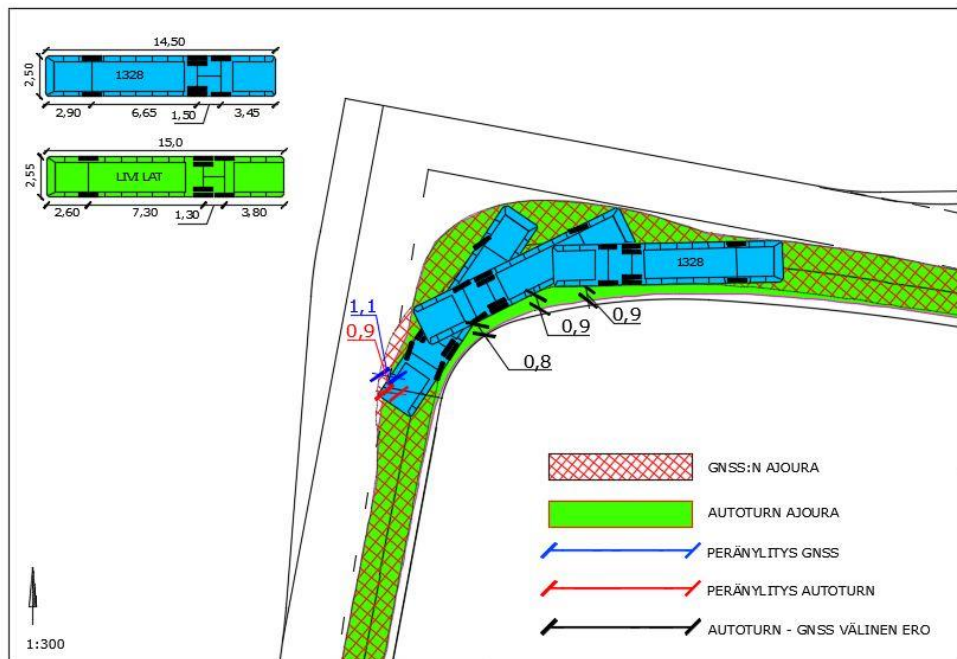
Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylytys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 0,7 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylytys oli 0,4 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten ero on 0,3 metriä. Suurin kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,9 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitussajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,32 metriä, akseliväliltään 0,40 metriä ja takaylitykseltään 0,42 metriä testattua linja-autoa pidempi. Sen lisäksi testatussa linja-autossa oli kääntyvä teli, toisin kuin Liikenneviraston suosittelemassa LAT-mitotussajoneuvossa, mikä lisää peränylytyserotusta käännöksissä (kuva 16).



Kuva 16. LAT-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,7 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,2 metriä pienempi peränylyksessä verrattuna MAN 803:n GNSS-ajouraan.

5.1.4 Kolmiakselinen kääntyvätelinen Scania (1328)

Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylytys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 1,1 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylytys oli 0,9 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten ero on 0,2 metriä. Suurin kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,9 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,50 metriä, akseliväliltään 0,65 metriä ja takaylitykseltään 0,35 metriä testattua linja-autoa pidempi. Sen lisäksi testatussa linja-autossa oli kääntyvä teli, toisin kuin Liikenneviraston suosittelemassa LAT-mitoitusajoneuvossa, mikä lisää peränylytyserotusta käännöksissä (kuva 17).



Kuva 17. LAT-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,9 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,2 metriä pienempi peränylityksessä verrattuna Scania 1328:n GNSS-ajouraan.

5.2 Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tilavammin mitoitettulla liittymäalueella.

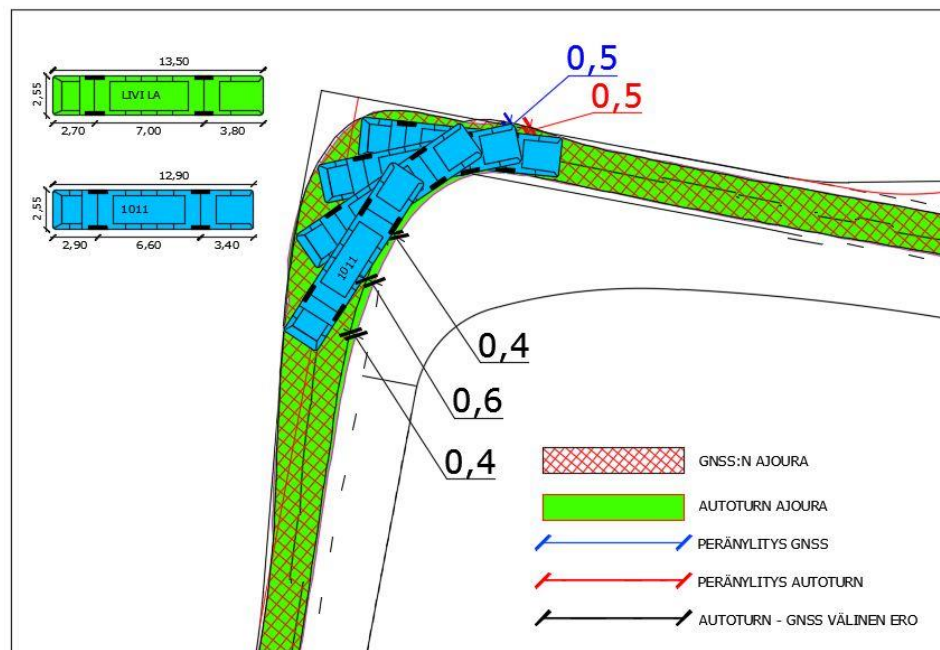
Ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntymiseen vaatima tila normaalia tilavammin mitoitettulla risteysalueella. Ajotestissä suoritettiin 90 asteen käännös, joka vastaa 100 goonia. Käännöksen aikana kiinnitettiin huomiota erityisesti linja-auton peränylitykseen ja sisäkyljen laahaamisen vaatimaan tilaan. Tässä tilanteessa linja-auton ei tarvinnut käyttää vastaantulijoiden ajokaistaa käännöksen aikana eikä käännöksen jälkeisessä suoristuksessa. Tulokset ovat koostetusti taulukossa 3.

Taulukko 3. Mittauseroja GNSS- ja AutoTURN-ajourien välillä, Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tilavammin mitoitettulla liittymäalueella testiajossa.

Linja-auto	Peränylitys: GNSS- ja AutoTURN -ajourien erotus, enimmäisarvo	Kyljen laahaus: GNSS- ja AutoTURN-ajourien erotus, enimmäisarvo
2-akselinen Scania 1011	0 m	0.6 m
3-akselinen jäykkätelineinen Scania 125	0.1 m	0.7 m
3-akselinen kääntytelineinen MAN 803	0.5 m	0.8 m
3-akselinen kääntytelineinen Scania 1328	0.7 m	1.6 m

5.2.1 Kaksiakselinen Scania (1011)

Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylitys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 0,5 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylitys oli 0,5 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylysten ero ei esiintynyt. Kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,6 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,6 metriä ja akseliväliltään 0,4 metriä testattua linja-autoa pidempi (kuva 18).

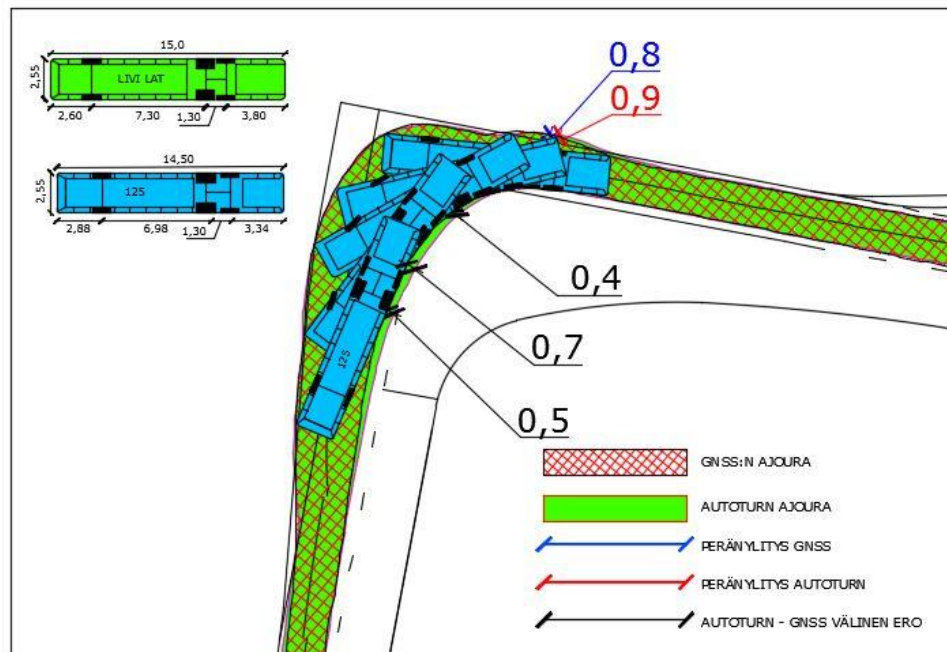


Kuva 18. LA-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,6 metriä suurempi sisäkyljen puolella verrattuna Scania 1011:n GNSS-ajouraan. Peränylysten eroa ei esiintynyt.

5.2.2 Kolmiakselinen jäykkätelineinen Scania (125)

Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylitys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 0,8 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä

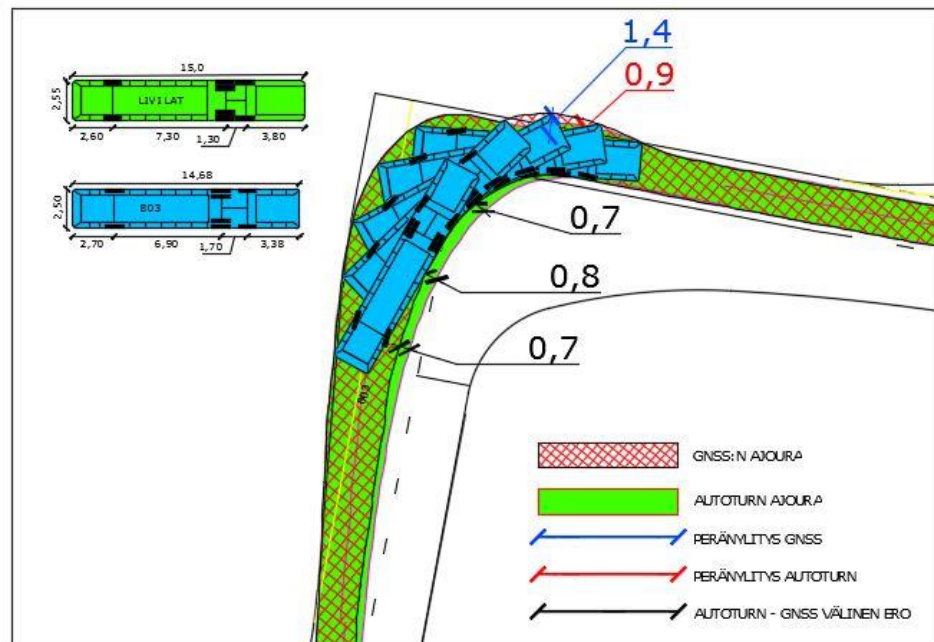
AutoTURN-ajouran peränylitys oli 0,9 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylysten ero on 0,1 metriä. Kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,7 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,5 metriä, akseliväliltään 0,32 metriä ja takaylitykseltään 0,46 metriä testattua linja-autoa pidempi (kuva 19).



Kuva 19. LAT-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,7 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,1 metriä pienempi peränylytyksessä verrattuna Scania 125:n GNSS-ajouraan.

5.2.3 Kolmiakselinen kääntyvätelinen MAN (803)

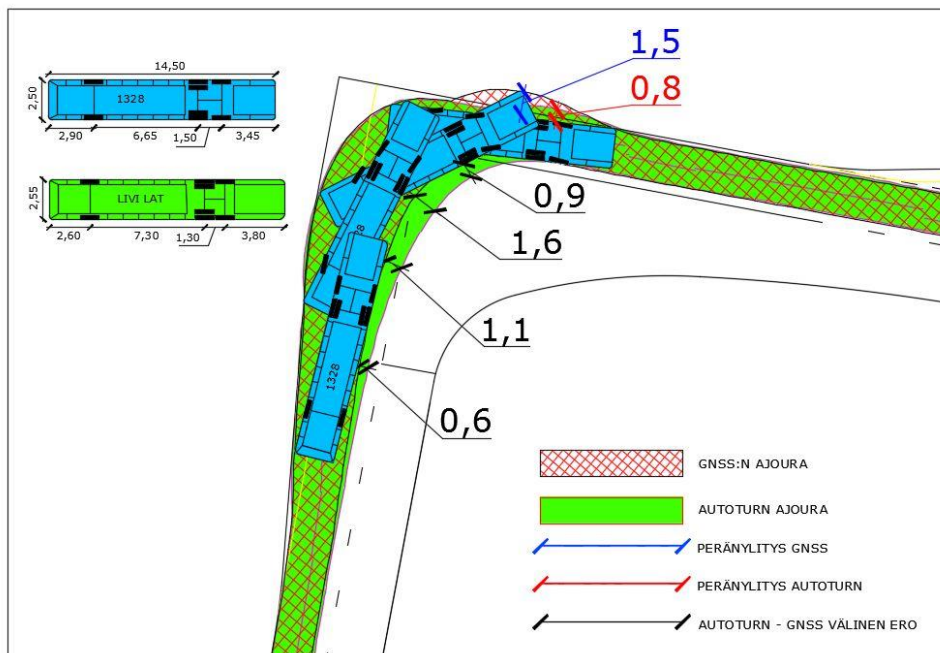
GNSS-ajourassa mitattu todellinen peränylitys oli 0,4 metriä enemmän kuin AutoTURNin ajouramallissa. Kyljen laahaamisen vaatima tila oli fyysisessä koeajossa enimmillään 0,8 metriä vähemmän kuin AutoTURN-ajouramallissa. Suurin kyljen laahausarvo esiintyi toistuvasti käännöksen keskivaiheessa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,32 metriä, akseliväliltään 0,40 metriä ja takaylitykseltään 0,42 metriä testattua linja-autoa pidempi. Sen lisäksi testatussa linja-autossa oli kääntyvä teli, toisin kuin Liikenneviraston suosittlemassa LAT-mitoitusajoneuvossa, mikä lisää peränylytyserotusta käännöksissä (kuva 20).



Kuva 20. LAT-mitotusajoneuvon tilantarve on 0,8 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,5 metriä pienempi peränylyksessä verrattuna MAN 803:n GNSS-ajouraan.

5.2.4 Kolmiakselinen kääntyvätelinen Scania (1328)

Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylytys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 1,5 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylytys oli 0,8 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten ero oli 0,7 metriä. Suurin kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 1,6 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitussajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,50 metriä, akseliväliltään 0,65 metriä ja takaylitykseltään 0,35 metriä testattua linja-autoa pidempi. Tämän lisäksi testatussa linja-autossa oli kääntyvä teli, toisin kuin Liikenneviraston suosittelemassa LAT-mitotussajoneuvossa, mikä lisää peränylytyserotusta käännöksissä (kuva 21).



Kuva 21. LAT-mitoitusajoneuvon tilantarve on 1,6 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,7 metriä pienempi peränylytyksessä verrattuna Scania 1328:n GNSS-ajouraan.

5.3 Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tiukemmin mitoitetulla liittymäalueella

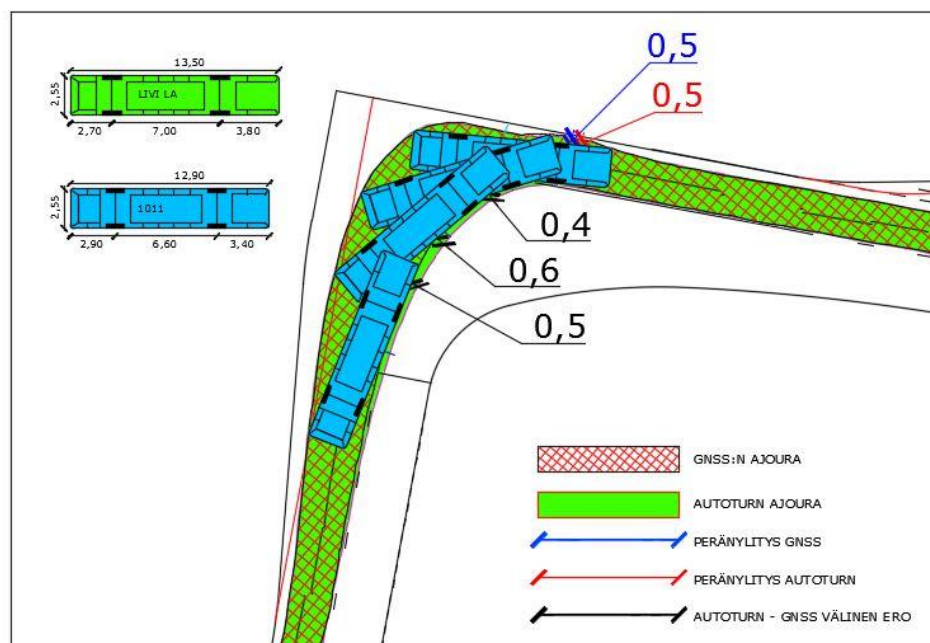
Ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntymiseen vaatima tila normaalia tiukemmin mitoitetulla liittymäalueella. Ajotestissä suoritettiin 90 asteen käännös, joka vastaa 100 goonia (taulukko 4). Käännöksen aikana kiinnitettiin huomiota erityisesti linja-auton peräilytykseen ja sisäkyljen laahaamisen vaatimaan tilaan.

Taulukko 4. Mittauseroja GNSS- ja AutoTURN-ajourien välillä, Vasemmalle kääntyminen 90 astetta, tiukemmin mitoitetulla liittymäalueella -testikoeajossa.

Linja-auto	Peränylytykset: GNSS- ja AutoTURN -ajourien erotus, enimmäisarvo	Kyljen laahaus: GNSS- ja AutoTURN-ajourien erotus, enimmäisarvo
2-akselinen Scania 1011	0 m	0.6 m
3-akselinen jäykkäteline Scania 125	0 m	0.8 m
3-akselinen kääntyteline MAN 803	0.5 m	0.8 m
3-akselinen kääntyteline Scania 1328	0.4 m	1.1 m

5.3.1 Kaksiakselinen Scania (1011)

Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylitys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 0,5 metriä, ja vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylitys oli 0,5 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten eroa ei siis esiintynyt. Kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,6 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,6 metriä ja akseliväliltään 0,4 metriä testattua linja-autoa pidempi (kuva 22).

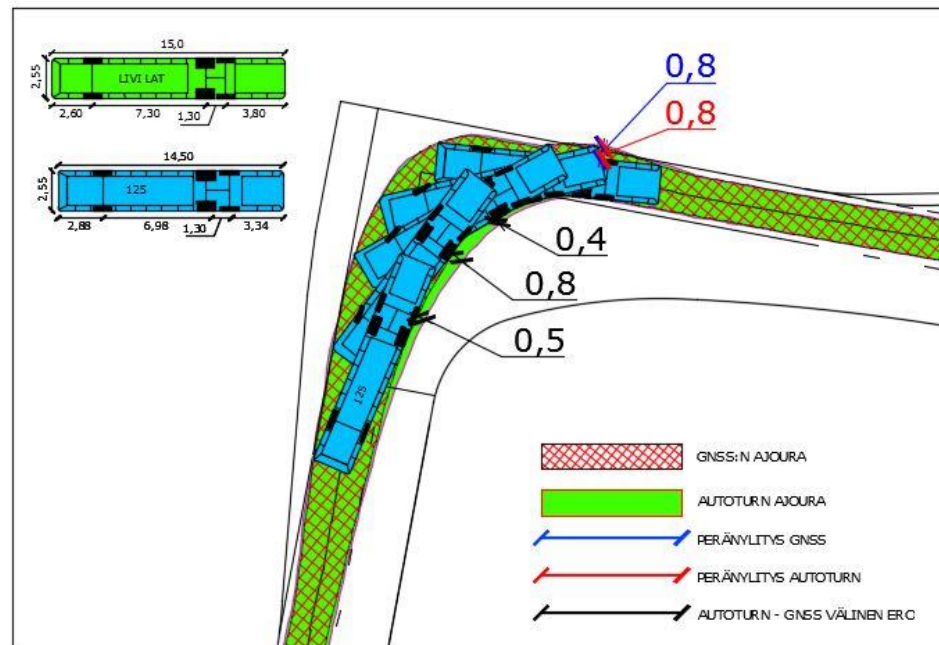


Kuva 22. LA-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,6 metriä suurempi sisäkyljen puolella verrattuna Scania 1011:n GNSS-ajouraan. Peränylytysten eroa ei esiintynyt.

5.3.2 Kolmiakselinen jäykkätelineinen Scania (125)

Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylitys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 0,8 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylitys oli 0,8 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten ero ei esiintynyt. Kyljen laahausarvo oli käännöksen

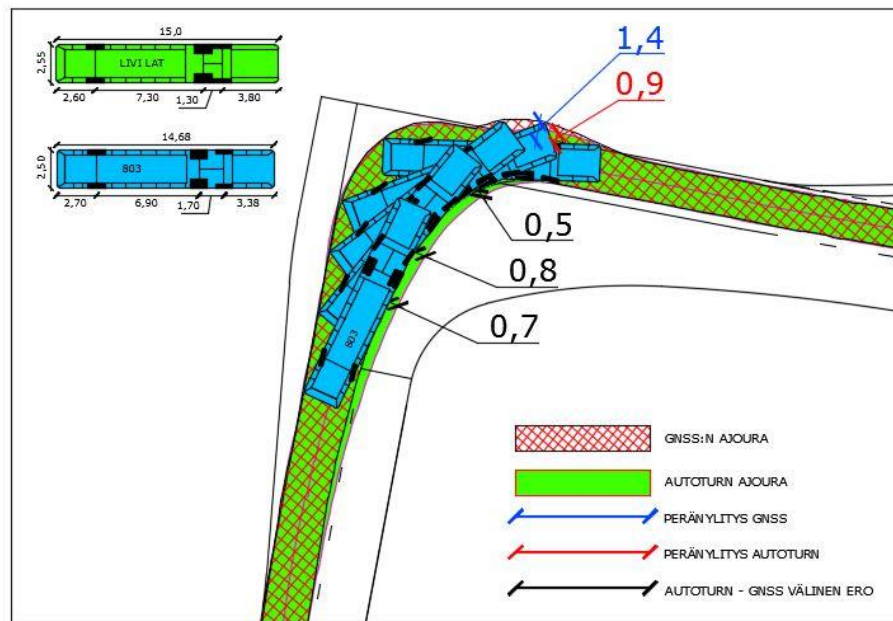
keskivaiheella 0,8 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,5 metriä, akseliväliltään 0,32 metriä ja takaylitykseltään 0,46 metriä testattua linja-autoa pidempi (kuva 23).



Kuva 23. LAT-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,8 metriä suurempi sisäkyljen puolella verrattuna Scania 125:n GNSS-ajouraan. Peränylysten eroa ei esiintynyt.

5.3.3 Kolmiakselinen kääntyvätelinen MAN (803)

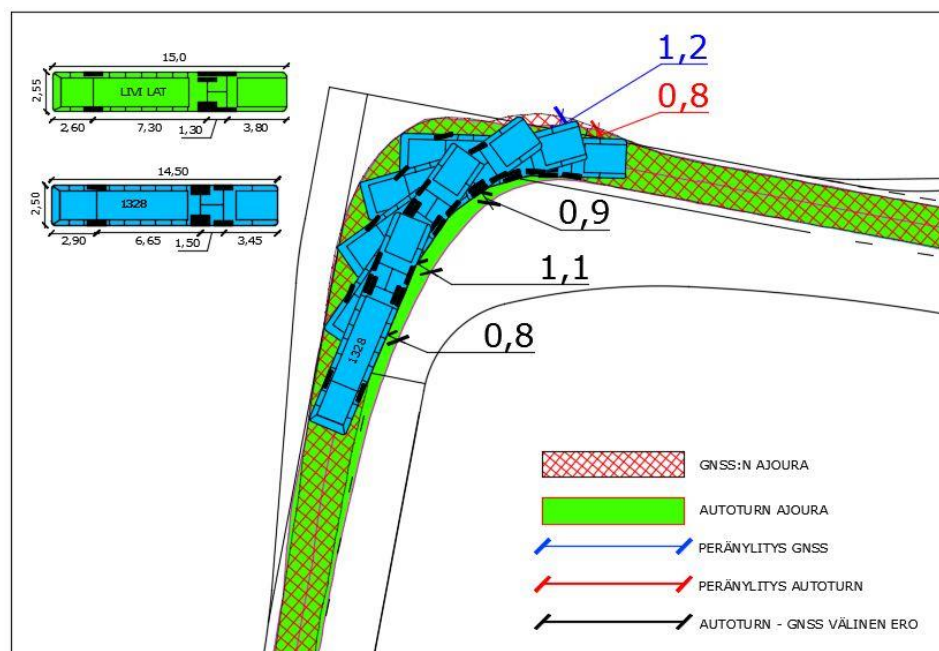
Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylytys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 1,4 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylytys oli 0,9 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten ero on 0,5 metriä. Suurin kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 0,8 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,32 metriä, akseliväliltään 0,40 metriä ja takaylitykseltään 0,42 metriä testattua linja-autoa pidempi. Sen lisäksi testatussa linja-autossa oli kääntyvä teli, toisin kuin Liikenneviraston suosittelemassa LAT-mitoitusajoneuvossa, mikä lisää peränylytyserotusta käännöksissä (kuva 24).



Kuva 24. LAT-mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,8 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,5 metriä pienempi peränylyksessä verrattuna MAN 803:n GNSS-ajouraan.

5.3.4 Kolmiakselinen kääntyvätelinen Scania (1328)

Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan käännöksen aikainen peränylytys fyysisen koeajon aikana oli enimmillään 1,2 metriä, kun taas vastaavalla käännöksellä AutoTURN-ajouran peränylytys oli 0,8 metriä. GNSS- ja AutoTURN-ajourien peränylytysten ero oli 0,4 metriä. Suurin kyljen laahausarvo oli käännöksen keskivaiheella 1,1 metriä vähemmän GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa. AutoTURN-ajouramallin ja GNSS-mittausten eroavaisuudet selittyvät pääasiassa sillä, että AutoTURN-ajouramallin mitoitusajoneuvo oli kokonaispituudeltaan 0,50 metriä, akseliväliltään 0,35 metriä ja takaylytykseltään 0,35 metriä testattua linja-autoa pidempi. Tämän lisäksi testatussa linja-autossa oli kääntyvä teli, toisin kuin Liikenneviraston suosittelemassa LAT-mitoitusajoneuvossa, mikä lisää peränylytyserotusta käännöksissä (kuva 25).



Kuva 25. LAT-mitoitusajoneuvon tilantarve on 1,1 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,4 metriä pienempi peränylityksessä verrattuna Scania 1328:n GNSS-ajouraan.

5.4 Ympyräajo

Ajotestissä selvitettiin linja-autojen kääntösäteitä ajamalla täysiä ympyröitä, jolloin saatiin selville linja-auton korin tekemä sisä- ja ulkosäde ja samalla saatiin myös selville linja-auton etuakselin keskipisteen muodostaman ympyrän säde. Ajotilanteissa linja-auto lähti tekemään ympyröitä paikaltaan ja linja-auton ohjauspyörä oli käännettynä ääriasentoon. Mittaustulokset ovat koostetusti taulukossa 5.

Taulukko 5. Ympyräajotestin tulokset.

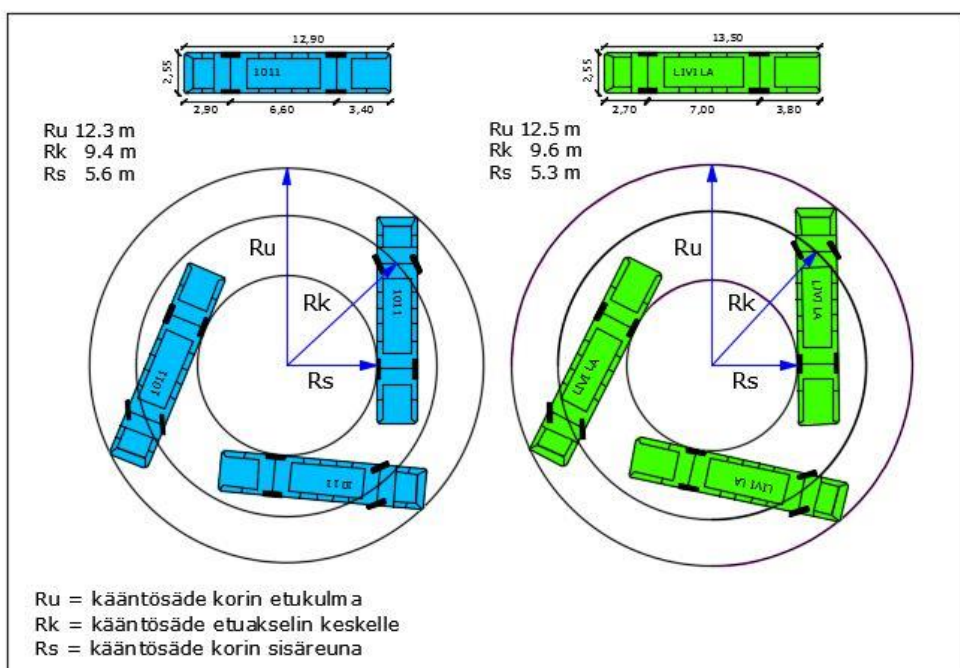
Linja-auto	Kääntösäde korin etukulma (Ru)	Kääntösäde etuakselin keskelle (Rk)	Kääntösäde korin sisäreuna (Rs)
Liikenneviraston mitoitusaajoneuvo La	12.5 m	9.6 m	5.3 m
2-akselinen Scania 1011	12.3 m	9.4 m	5.6 m
Liikenneviraston mitoitusaajoneuvo Lat	13.8 m	11.0 m	6.3 m
3-akselinen jäykkäteline Scania 125	13.6 m	10.9 m	7.0 m
3-akselinen kääntäväteline MAN 803	12.3 m	9.5 m	5.6 m
3-akselinen kääntäväteline Scania 1328	11.8 m	8.9 m	5.1 m

Ympyräajotestin tuloksista voidaan nähdä, että kaikki linja-autot pystyisivät kääntymään ajotavan B mukaan (kääntösäde etuakselin keskelle R11), jota käytetään yleisesti ajouratarkasteluissa. Tutkimustuloksista ei suoraan pysty päättämään täyttäisivätkö linja-autot EU-komission asettaman viimeisimmän peränylityssäädöksen (0,6 metriä), sillä ympyräajotestejä ei järjestetty kääntyvyysvaatimuksen mukaisesti siten, että korin etukulma olisi seurannut 12,5 metristä ympyräsädettä pitkin.

5.4.1 Kaksiakselinen Scania (1011)

Linja-auton GNSS-ajouran sisäsäde oli fyysisessä koeajossa 0,3 metriä pienempi ja ulkosäde 0,2 metriä pienempi kuin AutoTURN-ajourissa. Linja-auto kääntyi fyysisessä koeajossa hieman tiukemmin kuin mitoitusajoneuvo (kuva 25).

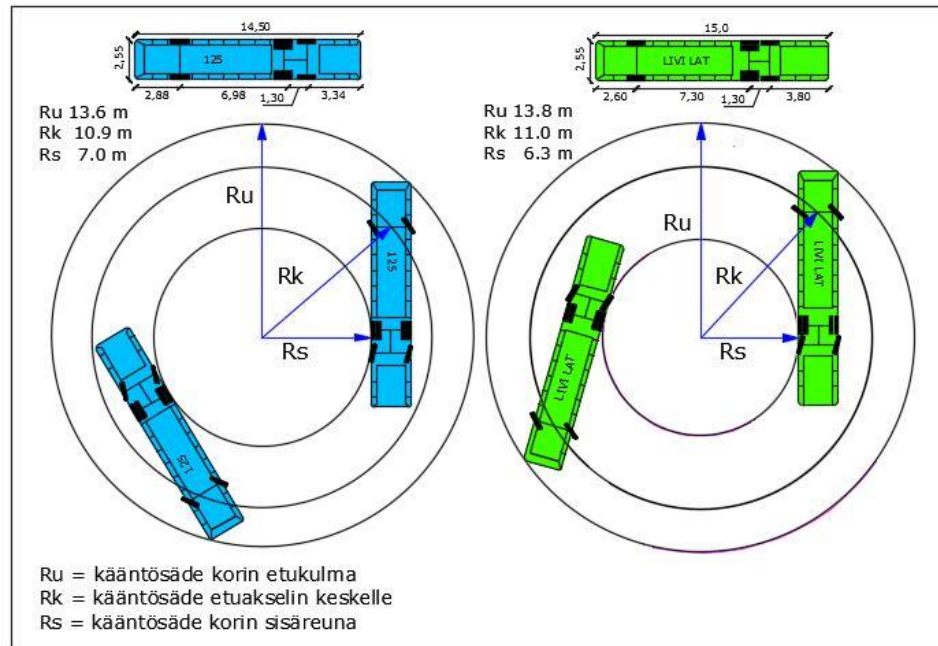
Linja-autoon kiinnitetyistä GNSS-vastaanottimista saatujen mittaustietojen mukaan GNSS-ajouran Ru eli kääntösäde korin etukulmaan ja Rk eli kääntösäde etuakselin keskelle ovat molemmat 0,2 metriä pienempiä kuin AutoTURN:n vastaavassa ajourassa. Rs eli kääntösäde korin sisäreunaan on taas 0,3 metriä isompi GNSS-ajourassa kuin AutoTURN-ajourassa (kuva 26). Käännöstestien aikana GNSS-vastaanottimien tallentamien tietojen mukaan peränylityksen enimmäisarvo oli 0,5 metriä.



Kuva 26. Vertailu GNSS- ja AutoTURN-ajourista ympyräajotestissä. LA-mitoitusajoneuvo ja Scania 1011

5.4.2 Kolmiakselinen jäykkätelineen Scania (125)

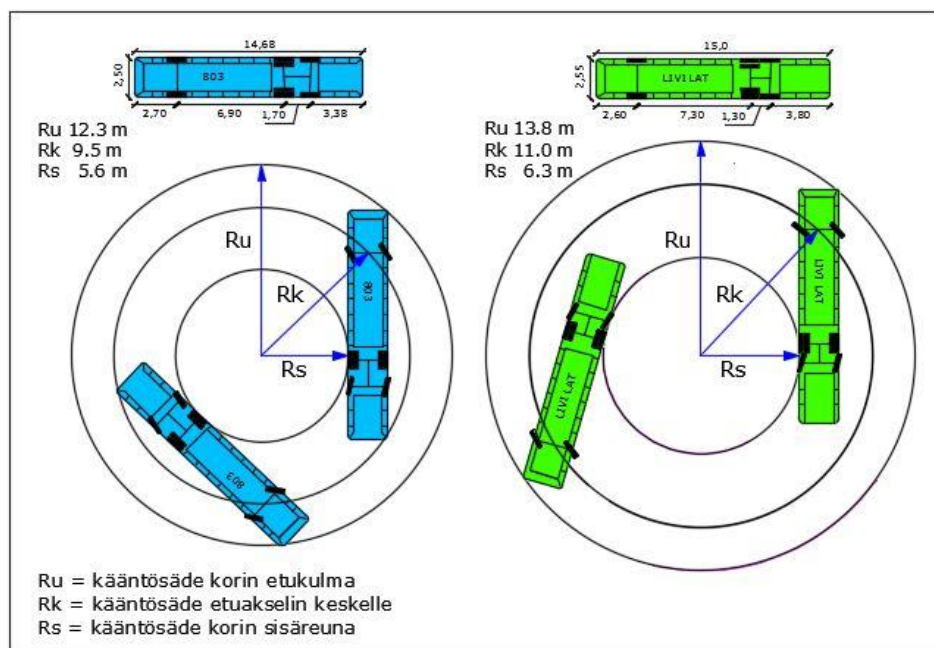
Linja-auton GNSS-ajouran sisäsäde oli fyysisessä koeajossa 0,5 metriä pienempi kuin AutoTURN-ajourissa. Ulkosäde oli sama molemmissa ajourissa (kuva 27).



Kuva 27. Vertailu GNSS- ja AutoTURN-ajourista ympyräajotestissä- LAT-mitoitusajoneuvo ja Scania 125.

5.4.3 Kolmiakselinen kääntyvätelinen MAN (803)

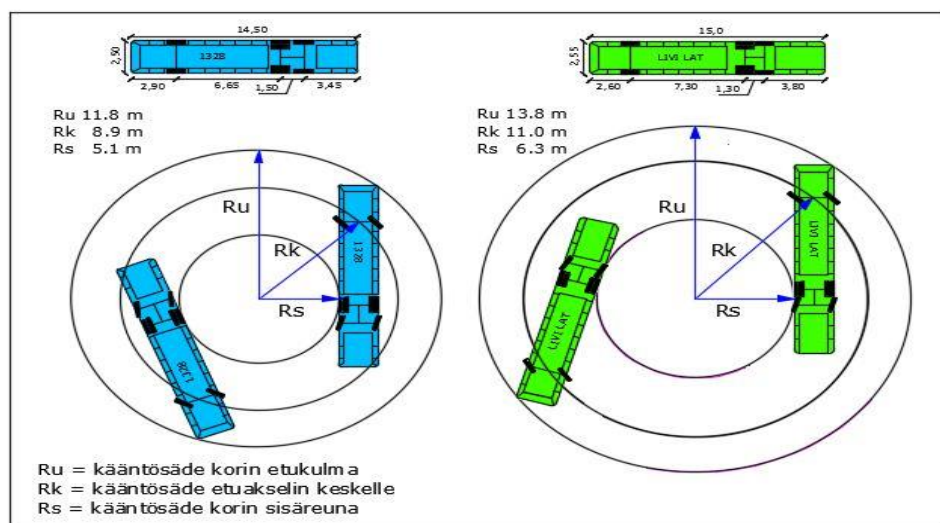
Linja-auton GNSS-ajouran sisäsäde oli fyysisessä koeajossa 0,9 metriä pienempi ja ulkosäde 1,5 metriä pienempi kuin AutoTURN-ajourissa. Tämä kääntyvätelinen linja-auto kääntyi koeajossa huomattavasti tiukemmin kuin jäykkätelineen mitoitusajoneuvo LAT (kuva 28).



Kuva 28. Vertailu GNSS- ja AutoTURN-ajourista ympyräajotestissä- LAT-mitoitusajoneuvo ja Scania 125.

5.4.4 Kolmiakselinen kääntyvätelinen Scania (1328)

Linja-auton GNSS-ajouran sisäsäde oli fyysisessä koeajossa 1,2 metriä pienempi ja ulkosäde 2,0 metriä pienempi kuin AutoTURN-ajourissa. Tämä kääntyvätelinen linja-auto kääntyi koeajossa huomattavasti tiukemmin kuin jäykkätelinen mitoitusajoneuvo LAT (kuva 29).



Kuva 29. Vertailu GNSS- ja AutoTURN-ajourista ympyräajotestissä- LAT-mitoitusajoneuvo ja Scania 1328.

5.5 Pysäkkiajot

5.5.1 Pysäkille tulo ja pysäkiltä lähtö

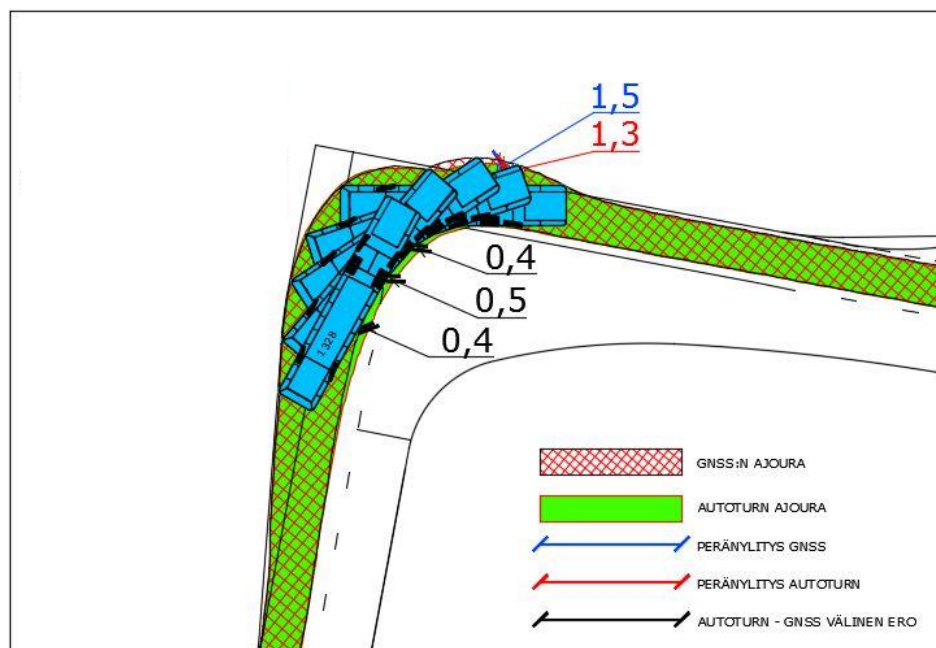
Koeajotilanteessa testattiin pysäkkiajoja erilaisilla linja-autoilla. Pysäkille ajo -testeissä GNSS-ajouran ja AutoTURN-ajouran tulokset olivat hyvin samanlaisia. Pysäkiltä lähtö -ajotesteissä oli eroavaisuuksia GNSS- ja AutoTURN-ajourien välillä. Haasteita tulosten määrittämisessä aiheutti kuljettajan kokema hankaluus ajaa linja-autoa pysäkille oikeaan kohtaan pelkän maaliviivan avulla. Normaalisti linja-autopysäkeillä on reunakivi, jota kuljettaja voi tarvittaessa käyttää avukseen pysäkille ajaessaan. Reaalitilanteessa linja-auton renkaan osuessa reunakiveen kuljettaja hahmottaa ajouran reunan paremmin. Fyysisessä koeajotilanteessa pysäkin rajat oli maalattu asfalttiin, eikä fyysistä ”ohjuria” täten ollut. Tämä aiheutti sen, että koeajotilanteessa linja-auton renkaat kävivät välillä maalatun ”reunakiven” väärällä puolella. Tuloksien perusteella nähdään, että pysäkkiajotestissä linja-autot pääsivät hyvin molemmille pysäkeille.

5.6 Mittausten tulokset verrattuna itsemääritelyyn AutoTURN-ajoneuvoon

Vertailun vuoksi AutoTURN-ohjelmalla rakennettiin käyttäjäkohtainen telilinja-auto mitoitusajoneuvoksi, joka vastasi mahdollisimman tarkasti mitoiltaan ja akseliominaisuuksiltaan linja-autoa numero 1328. AutoTURN-ohjelmalla luotiin ajourat kahteen ajotilanteeseen; vasemmalle kääntyminen tilavassa risteyksessä ja kapealta pysäkiltä lähtö ohjauspyörä ääriasennossa. Ensimmäisessä kiinnitettiin erityistä huomiota peränylitykseen ja sisäkyljen tilantarpeeseen, jälkimmäisessä tarkasteltiin erityisesti peränylityksen mittauseroja pysäkiltä lähdössä. Käyttäjäkohtaisen telilinja-auton teliominaisuuden säädössä hankaluuksia aiheutti se, ettei AutoTURN-ohjelmassa pysty säätämään kyseiselle ominaisuudelle eri arvoja, vaan ohjelmisto käyttää aina samaa oletusarvoa kääntävälle telille. Tämä säätöominaisuuden puute aiheuttaa eroavaisuudet tietokonepohjaisen ajouran ja todellisen linja-auton ajouran välillä, sillä todellisten linja-autojen teliominaisuuksilla on suuriakin kääntävyyseroja.

Tuloksien perusteella voidaan todeta, että GNSS -mittaustulokset vastasivat melko tarkasti AutoTURNiin luodun kääntyvätelisen mitoitusajoneuvon ajouria. Fyysisessä koeajossa vasemmalle kääntymisessä GNSS-ajoura mitattu peränylitys oli 0,2 metriä suurempi kuin AutoTURNin kääntyvätelisen mitoitusajoneuvon ajourissa. Sisäkyljen tilantarve oli enimmillään 0,4 metriä pienempi kuin AutoTURN-ohjelmassa. Tilantarpeen suurin arvo oli käännöksen keskivaiheessa (kuva 29). Pysäkkiajossa testattiin kapealta pysäkiltä lähtö ohjauspyörä

ääriasennossa. GNSS-mittauksella peränylitys oli tässä tilanteessa 0,1 metriä suurempi kuin AutoTURN:n ajourassa (kuva 30).



Kuva 30. Vertailu GNSS- ja AutoTURN-ajourista 90 asteen käänöksessä tilavalla liittymäalueella, jossa AutoTURN-ajouran luomisessa on käytetty käyttäjäkohtaista mitoitusajoneuvoa, joka vastaa linja-autoa Scania 1328. Käyttäjäkohtainen mitoitusajoneuvon tilantarve on 0,5 metriä suurempi sisäkyljen puolella ja 0,2 metriä pienempi peränylityksessä verrattuna Scania 1328:n GNSS-ajouraan.

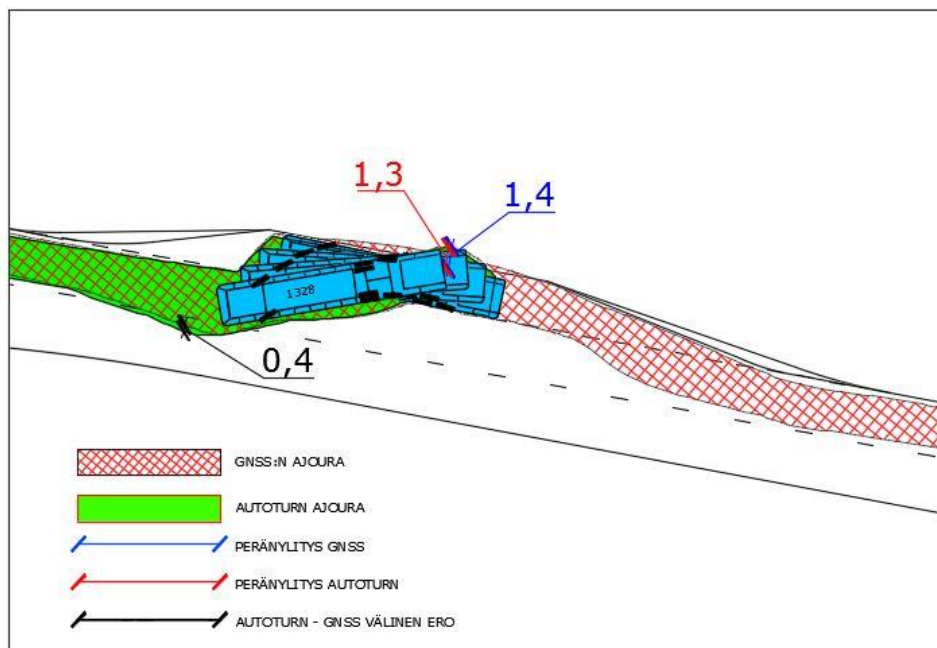
5.6.1 Vertailu: käyttäjäkohtainen mitoitusajoneuvo ja GNSS-ajo urat

Tässä kappaleessa eritellään lyhyesti vertailua GNSS-ajourien ja käyttäjäkohtaisella mitoitusajoneuvolla luotujen ajourien välillä. Käyttäjäkohtaiselle mitoitusajoneuvolle säädettiin todellisia linja-autoja vastaavat arvot ja sillä luotiin testiajojen 90 asteen käänöksiä tilavassa liittymäalueessa vastaavat ajourat.

Kaksiakselisen Scania 1011 linja-auton ajourien vertailussa peränylitys oli lähes saman verran sekä GNSS- että AutoTURN-ajourassa, kun taas sisäkyljen tilantarpeen eroavaisuus oli enimmillään 0,2 metriä käänöksen keskivaiheella.

Kolmiakselisen jäykkätelisen Scania125 linja-auton peränylitys oli saman verran molemmissa ajourissa, mutta sisäkyljen tilantarpeessa oli 0,8 metriä eroa.

Kolmiakselisen kääntyvätelisen Scania 803 linja-auton ajourien vertailussa peränylitys oli 0,4 metriä eroa, kun taas sisäkyljen tilantarpeen eroavaisuus oli enimmillään 0,8 metriä käynnöksen keskivaiheella.



Kuva 31. Vertailu GNSS- ja AutoTURN-ajourista pysäkkiajotestissä, jossa AutoTURN-ajouran luomisessa on käytetty käyttäjäkohtaista mitoitussajoneuvoa, joka vastaa linja-autoa Scania 1328.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

AutoTURN -ohjelmalla luotujen ajourien ja kenttäkokeen mittauksien perusteella tehtyjen ajourien tuloksien vertailun jälkeen voidaan todeta, että Liikenneviraston liikenneteknisissä mitoitusohjeissa käyttämä 15-metrinen LAT-mitoitusajoneuvon sisäkyljen tilantarve on käännöksissä huomattavasti suurempi kuin kenttäkokeessa käytettyjen linja-autojen vastaavanlaisissa käännöksissä. Suurin syy ajourien tuloksien erojen välillä on mitoitusajoneuvon ja todellisten linja-autojen tekniset- ja rakenteelliset eroavaisuudet. On asiaankuuluvaa, että mitoitusajoneuvo niin sanotusti liioittelee tilantarvetta ajourasimulaatiossa. Jos tulokset olisivat olleet päinvastaisia haasteita ilmenisi tapauksissa, joissa ajouratarkastelun pohjalta rakennettaisiin liian kapeita tai ahtaita liittymiä, jotka eivät täyttäisi todellisten linja-autojen tilantarpeita.

Peränylityksen osalta on ollut haastavaa löytää jokin tekijä, joka yksinään vaikuttaisi vertailutuloksiin. Peränylityksiin vaikuttavia tekijöitä on useita ja ne vaihtelevat ajoneuvotyyteittäin. Tuloksien vertailussa todettiin, että suuriin eroavaisuuksiin peränylityksissä vaikutti eniten linja-auton teliominaisuus, takaylitys ja akseliväli. Käännöksen aikainen peränylitys on huomattavasti pienempi jäykkämallisessa telissä kuin kääntyvämallisessa.

Lopuksi haluttiin vielä vertailla AutoTURN-ohjelmiston käyttäjäkohtaisella mitoitusajoneuvolla luotuja ajouria GNSS-ajouriin. Tällä yritettiin selvittää, saadaanko simuloitua ajourat vastaamaan todellisia ajouria. Vertailussa huomattiin, että AutoTURN -ohjelmalla luodut ajourat eivät täsmänneet täysin GNSS-ajouria, vaikka käyttäjäkohtaisen mitoitusajoneuvon mitat ja muut ominaisuudet mukaan lukien etuakselin kääntösaiteet, eturenkaiden kääntökulmat, rengaskoot, korin mitat ja -pyöristykset sekä akseli- ja telivälit oli säädetty vastaamaan tarkasti todellisia linja-autoja. Eron oletettiin johtuvan siitä, että AutoTURN-ohjelmassa ei pysty säätämään kääntyvätelisen käyttäjäkohtaisen mitoitusajoneuvon telin kääntökulmaa, vaan ohjelma käyttää automaattisesti oletusarvoa. Voi olla, että ajourien vastaavuus olisi parempi, jos telin kääntökulmaa pystyisi säätämään oletusarvoa suuremmaksi.

Osa tuloksista viittaa siihen, että AutoTURN -ajouramallinnusohjelma ei pysty täysin simuloimaan linja-autojen tilantarvetta, vaikka ajouriin vaikuttavia arvoja ja asetuksia säädettäisiinkin vastaamaan mahdollisimman hyvin todellisia linja-autoja. AutoTURN-ohjelma käyttää erilaisia algoritmeja ja monimutkaisia matemaattisia menetelmiä ajouramallinnukseen. Siitä huolimatta ohjelma ei kykene simuloimaan täydellisesti todenmukaisia ajouria. Ohjelma on kuitenkin tarpeeksi tarkka antamaan riittäviä tuloksia suunnitteluvaiheen ajouria varten. Ohjelman kehittäjät suosittelevatkin käyttämään ajouramallinnuksessa riittäviä liikkumisvaroja, joissa on otettu

huomioon eri kuljettajien ajotaidot ja -tottumukset sekä vaihtelevat ajo-olosuhteet.

Liikenneviraston liikenneteknisissä mitoitusohjeissa mitoitusajoneuvona on käytetty jäykkätelistä 15 metriä pitkää linja-autoa, joka ei vastaa kääntyvätelisten linja-auton tilantarvetta. Liikenneteknisessä mitoituksessa on kuitenkin järkevää käyttää hieman todellisia linja-autoja jäykempää mitoitusajoneuvoa. AutoTURN-ohjelmalla tehdyt ajourat vastasivat melko tarkasti todellisen linja-auton käyttämä tilaa, kunhan mitoitusajoneuvon asetukset säädettiin vastaamaan todellista linja-autoa.

Helsingin seudulla on käytössä noin 1500 linja-autoa, joista noin 500 on kääntyvätelisiä ja kolmiakselisia, jotka liikennöivät usein ahtaissa ympäristöissä Helsingin seudun alueella. Herää kysymys, olisiko tarpeellista päivittää linja-autojen osalta nykyisiä suosituksia mitoitusajoneuvoista, tai luoda kääntyvätelille linja-autoille oma mitoitusajoneuvo sellaisten reittien tai linjojen tarkasteluun, joilla liikennöi kääntyvätelisiä linja-autoja. On kuitenkin tärkeätä, ettei tätä mitoitusajoneuvoa käytetä ainoana mitoitustekijänä, vaan suositellaan käyttämään aina myös nykyisen ohjeen mukaista LAT-mitoitusajoneuvoa.

Tarkasteltaessa AutoTURN-ajourien ja GNSS-ajourien välistä eroa (maksimissaan 0,2 metriä) ottaen samalla huomioon kenttäkokeesta saatujen GNSS-mittausten tuloksien virhetoleranssi (maksimissaan 0,03 metriä) ja tietokoneohjelmiston käyttäjävirhemarginaali, voidaan todeta, että AutoTURN-ohjelmalla luodut ajourat pitävät melko hyvin paikkansa kaksiakselisten linja-autojen osalta, edellyttäen että tarkat fyysiset mitat on syötetty AutoTURN-ohjelmaan käyttäjäkohtaista mitoitusajoneuvoa luodessa. Vastaavasti kolmiakselisten kääntyvätelisten linja-autojen eri ajourien eroavaisuudet ovat noin 0,5-0,8 metriä, sillä AutoTURN-ohjelmalla ei pystytty nykyisillä asetuksilla säätämään mitoitusajoneuvon kääntyvälle telille oletusarvoa suurempaa kääntökulmaa.

Liikennesuunnittelijan näkökulmasta työn tulokset vahvistavat näkemyksiä LAT-mitoitusajoneuvon todellisuutta reilummasta tilantarpeesta. Mitoitusajoneuvon todellisia linja-autoja pienempi peränylitys tulee tiedottaa liikennesuunnittelutyötä tehdessä. Erityisesti peränylytysten vaaroihin on kiinnitettävä huomiota muun muassa pysäkkien sijoittelussa ja mitoituksessa sekä aikataulusuunnittelussa, joiden avulla voidaan vaikuttaa olennaisesti pysäkillä odottavien matkustajien turvallisuuteen. Lisäksi teli-linja-autojen reiteillä liittymäalueiden mitoituksessa ja liikennevalovaiheiden suunnittelussa tulee huomioida peränylytyksen mahdolliset riskit.

LÄHTEET

Asetus autojen ja perävaunujen rakenteesta ja varusteista 1248/2002.

Haettu 1.2.2017 osoitteesta

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20021248>

Geounion (2015). yritys. Haettu 1.2.2017 osoitteesta

<http://www.geounion.fi/yritys.htm>

Ristikartano, J., Granlund, R., Räsänen, J., & Salmelin, L. *Tiensuunnittelun liikennetekniset mitoitusperusteet* 50/2012 Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä. Lähde on haettu 1.2.2017 osoitteesta

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-50_tiensuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf

Ristikartano, J., Granlund, R., Räsänen, J., & Salmelin, L. Linja-autojen kääntövyöryä ja takakulman sivusiirtymää koskevat vaatimukset. Haettu 01.2.2017 osoitteesta

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-50_tiensuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf

Ristikartano, J., Granlund, R., Räsänen, J., & Salmelin, L. Mitoittavien linja-autojen päämitat ja ajotilan leveydet (m) Pohjoismaissa ja Saksassa.

Haettu 01.2.2017 osoitteesta

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-50_tiensuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf

Ristikartano, J., Granlund, R., Räsänen, J., & Salmelin, L. Telilinja-auto.

Haettu 1.2.2017 osoitteesta

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-50_tiensuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf

Ristikartano, J., Granlund, R., Räsänen, J., & Salmelin, L. Linja-auto. Haettu 1.2.2017 osoitteesta

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/lts_2012-50_tiensuunnittelun_liikennetekniset_web.pdf

Rakennustieto (2013). RT 98-11104. Taajama-alueiden linja-autopysäkit ja terminaalit. Haettu 1.2.2017 osoitteesta

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/rt/kortit/11104.html.stx>

Suomen paikallisliikenneliitto ry (2010). Infrakortti 9, Mitoitusajoneuvot ja ajouramallit. Haettu 1.2.2017 osoitteesta

<http://www.pllry.fi/index.php?area=3&id=12>

Timo Vasara (n.d). Helsingin seudun liikennetsijöiden kalustolista. Haettu
1.2.2017 osoitteesta

<http://www.stadinkalusto.fi/kalustoluettelot/helb/>